



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### APPENDIX A NERACA MASSA

Waktu operasi	=	330	hari/tahun
	=	7920	jam/tahun
Kapasitas produksi	=	40000	ton/tahun
	=	5,0505	ton/jam
	=	5050,5051	kg/jam
Konversi	=	0,95	
Basis <i>feed</i>	=	3782,9634	kg/jam

Komposisi bahan

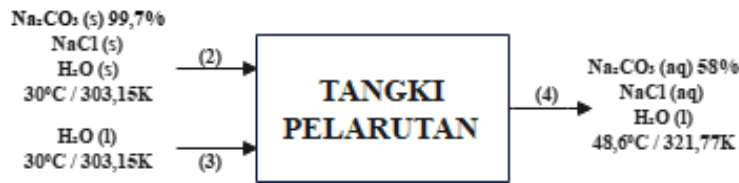
Komponen	%berat	BM (kg/kmol)
padatan Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	99,7	106
NaCl	0,2	58,5
H <sub>2</sub> O	0,1	18
liquid H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	65	98
H <sub>2</sub> O	35	18
Produk		
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O		171,1737
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>		142
CO <sub>2</sub>		44
H <sub>2</sub> O		18
HCl		36,5



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 1. TANGKI PELARUTAN $\text{Na}_2\text{CO}_3$



kondisi operasi:  $T = 30^\circ\text{C}$   
 $P = 1 \text{ atm}$

komponen	%berat	berat (kg/jam)
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	99,70	3771,6145
$\text{NaCl}$	0,20	7,5659
$\text{H}_2\text{O}$	0,10	3,7830
total	100	3782,9634

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  dilarutkan sampai dengan = 58 % (*Keyes, pg 696*)

Neraca massa total =  $F \times L$

Neraca massa komponen =  $F \cdot X_F = L \cdot X_L$

keterangan  $F$  = feed

$L$  = larutan

$X_F$  = kadar feed = 99,7 %

$X_L$  = kadar larutan = 58 %

$$\begin{aligned}
 F \times X_F &= L \times X_L \\
 3771,6145 \text{ kg/jam} \times 0,997 &= L \times 0,58 \\
 L &= \frac{3782,9634 \text{ kg/jam} \times 0,997}{0,58} \\
 &= 6502,7837 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

penambahan air = total berat larutan - berat feed

$$= 6502,7837 \text{ kg/jam} - 3782,9634 \text{ kg/jam}$$

$$= 2719,8202 \text{ kg/jam}$$

total  $\text{H}_2\text{O}$  =  $\text{H}_2\text{O}$  feed + penambahan air

$$= 3,7830 \text{ kg/jam} + 2719,8202 \text{ kg/jam}$$

$$= 2723,6032 \text{ kg/jam}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Neraca Massa Tangki Pelarutan

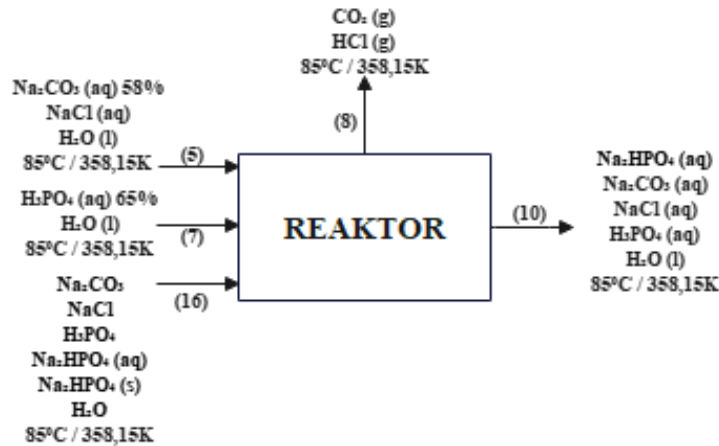
komponen	input (kg/jam)	output (kg/jam)
dari J-123 (2)		ke E-132 (4)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	3771,6145
NaCl	7,5659	7,5659
H <sub>2</sub> O	3,7830	2723,6032
Σ	3782,9634	
air proses (3)		
pelarut	2719,8202	
total	6502,7837	6502,7837



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 2. REAKTOR



kondisi operasi:  $T = 85^\circ\text{C}$   
 $P = 1 \text{ atm}$

komposisi aliran masuk sebelum *recycle*

komponen	berat (kg/jam)	mol (kmol/jam)
dari E-132 (5)		
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	3771,6145	35,5813
$\text{NaCl}$	7,5659	0,1293
$\text{H}_2\text{O}$	2723,6032	151,3113
total	6502,7837	187,0219

$$\begin{aligned}
 \text{jumlah mol } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} &= \text{mol } \text{Na}_2\text{CO}_3 \times \text{konversi} \\
 &= 35,5813 \text{ kmol/jam} \times 0,95 \\
 &= 33,8022 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

reaksi

*reaksi utama*

	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ (aq)	$\text{H}_3\text{PO}_4$ (aq)	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ (aq)	$\text{CO}_2$ (g)	$\text{H}_2\text{O}$ (l)
m	35,5813				
r	33,8022	33,8022	33,8022	33,8022	33,8022
s	1,7791	33,8022	33,8022	33,8022	33,8022

$$\begin{aligned}
 \text{berat sisa } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} &= \text{mol sisa } \text{Na}_2\text{CO}_3 \times \text{BM } \text{Na}_2\text{CO}_3 \\
 &= 1,7791 \text{ kmol/jam} \times 106 \text{ kg/kmol} \\
 &= 188,5807 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{berat sisa } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ bereaksi} &= \text{mol sisa } \text{H}_3\text{PO}_4 \times \text{BM } \text{H}_3\text{PO}_4 \\
 &= 33,8022 \text{ kmol/jam} \times 98 \text{ kg/kmol} \\
 &= 3312,6162 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 \text{berat hasil Na}_2\text{HPO}_4 &= \text{mol hasil Na}_2\text{HPO}_4 \times \text{BM Na}_2\text{HPO}_4 \\
 &= 33,8022 \text{ kmol/jar} \times 142 \text{ kg/kmol} \\
 &= 4799,9132 \text{ kg/jam} \\
 \text{berat hasil CO}_2 &= \text{mol hasil CO}_2 \times \text{BM CO}_2 \\
 &= 33,8022 \text{ kmol/jar} \times 44 \text{ kg/kmol} \\
 &= 1487,2970 \text{ kg/jam} \\
 \text{berat hasil H}_2\text{O} &= \text{mol hasil H}_2\text{O} \times \text{BM H}_2\text{O} \\
 &= 33,8022 \text{ kmol/jar} \times 18 \text{ kg/kmol} \\
 &= 608,4397 \text{ kg/jam} \\
 \text{mol NaCl} &= 0,1293 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

*reaksi samping*

m	0,1293			
r	0,1293	0,0647	0,0647	0,1293
s	0,0000	0,0647	0,0647	0,1293

$$\begin{aligned}
 \text{berat sisa H}_3\text{PO}_4 &= \text{mol sisa H}_3\text{PO}_4 \times \text{BM H}_3\text{PO}_4 \\
 \text{bereaksi} &= 0,0647 \text{ kmol/jar} \times 98 \text{ kg/kmol} \\
 &= 6,3373 \text{ kg/jam} \\
 \text{berat hasil Na}_2\text{HPO}_4 &= \text{mol hasil Na}_2\text{HPO}_4 \times \text{BM Na}_2\text{HPO}_4 \\
 &= 0,0647 \text{ kmol/jar} \times 142 \text{ kg/kmol} \\
 &= 9,1826 \text{ kg/jam} \\
 \text{berat hasil HCl} &= \text{mol hasil HCl} \times \text{BM HCl} \\
 &= 0,1293 \text{ kmol/jar} \times 36,5 \text{ kg/kmol} \\
 &= 4,7206 \text{ kg/jam} \\
 \text{berat hasil NaCl} &= \text{mol hasil NaCl} \times \text{BM NaCl} \\
 &= 0,0000 \text{ kmol/jar} \times 58,5 \text{ kg/kmol} \\
 &= 0,0000 \text{ kg/jam} \\
 \text{kebutuhan reaktan H}_3\text{PO}_4 & \\
 \text{pada reaksi utama} &= 33,8022 \text{ kmol/jam} \\
 \text{pada reaksi samping} &= \underline{0,0647 \text{ kmol/jam}} \\
 &= 33,8669 \text{ kmol/jar} = 3318,9534 \text{ kg/jam} \\
 \text{berat total H}_3\text{PO}_4 \text{ 65\%} &= \frac{\text{total H}_3\text{PO}_4 \text{ yang digunakan}}{\text{kadar H}_3\text{PO}_4} \\
 &= \frac{3318,9534 \text{ kg/jam}}{65 \text{ \%}} \\
 &= 5106,0822 \text{ kg/jam} \\
 \text{berat total H}_2\text{O dalam H}_3\text{PO}_4 &= 1787,1288 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

produk H<sub>2</sub>O

H <sub>2</sub> O dalam Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	=	2723,60	kg/jam
H <sub>2</sub> O dalam H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	=	1787,13	kg/jam
H <sub>2</sub> O hasil reaksi utama	=	608,44	kg/jam
		<u>5119,17</u>	kg/jam

### Neraca Massa Reaktor sebelum *recycle*

input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari E-132 (5)		ke V-310 (10)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807
NaCl	7,5659	NaCl	0,0000
H <sub>2</sub> O	2723,6032	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Σ	6502,7837	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4809,0958
dari E-112 (7)		H <sub>2</sub> O	5119,1717
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	3318,9534	Σ	10116,8482
H <sub>2</sub> O	1787,1288	ke G-212 (8)	
Σ	5106,0822	CO <sub>2</sub>	1487,2970
		HCl	4,7206
		Σ	1492,0177
total	11608,8659		11608,8659

komposisi aliran masuk sesudah *recycle*

komponen	berat (kg/jam)	mol (kmol/jam)
dari E-132 (5)		
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	35,5813
NaCl	7,5659	0,1293
H <sub>2</sub> O	2723,6032	151,3113
Σ	6502,7837	187,0219
dari E-343 (18)		
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	179,1517	1,6901
NaCl	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	91,3728	0,6435
H <sub>2</sub> O	963,0086	53,5005
Σ	1233,5331	55,8341
total	7736,3167	242,8559

$$\begin{aligned}
 \text{jumlah mol Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} &= \text{mol Na}_2\text{CO}_3 \times \text{konversi} \\
 &= 37,2714 \text{ kmol/jam} \times 0,95 \\
 &= 35,4078 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

reaksi

*reaksi utama*

	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ (aq)	$\text{H}_3\text{PO}_4$ (aq)	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ (aq)	$\text{CO}_2$ (g)	$\text{H}_2\text{O}$ (l)
m	37,2714				
r	35,4078	35,4078	35,4078	35,4078	35,4078
s	1,8636	35,4078	35,4078	35,4078	35,4078

$$\begin{aligned} \text{berat sisa Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} &= \text{mol sisa Na}_2\text{CO}_3 \times \text{BM Na}_2\text{CO}_3 \\ &= 1,8636 \text{ kmol/jam} \times 106 \text{ kg/kmol} \\ &= 197,5383 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat sisa H}_3\text{PO}_4 \text{ bereaksi} &= \text{mol sisa H}_3\text{PO}_4 \times \text{BM H}_3\text{PO}_4 \\ &= 35,4078 \text{ kmol/jam} \times 98 \text{ kg/kmol} \\ &= 3469,9654 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat hasil Na}_2\text{HPO}_4 &= \text{mol hasil Na}_2\text{HPO}_4 \times \text{BM Na}_2\text{HPO}_4 \\ &= 35,4078 \text{ kmol/jam} \times 142 \text{ kg/kmol} \\ &= 5027,9091 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat hasil CO}_2 &= \text{mol hasil CO}_2 \times \text{BM CO}_2 \\ &= 35,4078 \text{ kmol/jam} \times 44 \text{ kg/kmol} \\ &= 1557,9437 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat hasil H}_2\text{O} &= \text{mol hasil H}_2\text{O} \times \text{BM H}_2\text{O} \\ &= 35,4078 \text{ kmol/jam} \times 18 \text{ kg/kmol} \\ &= 637,3406 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\text{NaCl setelah recycle} = 0,1293 \text{ kmol/jam}$$

*reaksi samping*

	$2 \text{ NaCl}$ (aq)	$\text{H}_3\text{PO}_4$ (aq)	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ (aq)	$2 \text{ HCl}$ (g)
m	0,1293			
r	0,1293	0,0647	0,0647	0,1293
s	0,0000	0,0647	0,0647	0,1293

$$\begin{aligned} \text{berat sisa H}_3\text{PO}_4 \text{ bereaksi} &= \text{mol sisa H}_3\text{PO}_4 \times \text{BM H}_3\text{PO}_4 \\ &= 0,0647 \text{ kmol/jam} \times 98 \text{ kg/kmol} \\ &= 6,3373 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat hasil Na}_2\text{HPO}_4 &= \text{mol hasil Na}_2\text{HPO}_4 \times \text{BM Na}_2\text{HPO}_4 \\ &= 0,0647 \text{ kmol/jam} \times 142 \text{ kg/kmol} \\ &= 9,1826 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat hasil HCl} &= \text{mol hasil HCl} \times \text{BM HCl} \\ &= 0,1293 \text{ kmol/jam} \times 36,5 \text{ kg/kmol} \\ &= 4,7206 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 \text{berat hasil NaCl} &= \text{mol hasil NaCl} \times \text{BM NaCl} \\
 &= 0,0000 \text{ kmol/jam} \times 58,5 \text{ kg/kmol} \\
 &= 0,0000 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

kebutuhan reaktan  $\text{H}_3\text{PO}_4$

$$\begin{aligned}
 \text{pada reaksi utama} &= 35,4078 \text{ kmol/jam} \\
 \text{pada reaksi samping} &= 0,0647 \text{ kmol/jam} \\
 &= \frac{35,4725 \text{ kmol/jam}}{1} = 3476,3027 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

kebutuhan reaktan =  $\text{H}_3\text{PO}_4$  setelah *recycle* - penambahan *recycle*

$$\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ setelah } \textit{recycle} = 3476,3027 \text{ kg.jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{berat total H}_3\text{PO}_4 \text{ 65\%} &= \frac{\text{total H}_3\text{PO}_4 \text{ yang digunakan}}{\text{kadar H}_3\text{PO}_4} \\
 &= \frac{3476,3027 \text{ kg/jam}}{65 \text{ \%}} \\
 &= 5348,1580 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{berat total H}_2\text{O} \text{ dalam H}_3\text{PO}_4 = 1871,8553 \text{ kg/jam}$$

produk  $\text{H}_2\text{O}$

$$\begin{aligned}
 \text{H}_2\text{O} \text{ dalam Na}_2\text{CO}_3 &= 2723,60 \text{ kg/jam} \\
 \text{H}_2\text{O} \text{ dalam H}_3\text{PO}_4 &= 1871,86 \text{ kg/jam} \\
 \text{H}_2\text{O} \text{ dalam H-340 (16)} &= 963,01 \text{ kg/jam} \\
 \text{H}_2\text{O} \text{ hasil reaksi utama} &= 637,34 \text{ kg/jam} \\
 &= 6195,81 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

### Neraca Massa Reaktor sesudah *recycle*

input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari E-132 (5)		ke V-310 (10)	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	3771,6145	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	197,5383
NaCl	7,5659	NaCl	0,0000
$\text{H}_2\text{O}$	2723,6032	$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000
$\Sigma$	6502,7837	$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	5128,4645
dari E-112 (7)		$\text{H}_2\text{O}$	6195,8077
$\text{H}_3\text{PO}_4$	3476,3027	$\Sigma$	11521,8104
$\text{H}_2\text{O}$	1871,8553	ke G-212 (8)	
$\Sigma$	5348,1580	$\text{CO}_2$	1557,9437
dari E-343 (18)		HCl	4,7206
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	179,1517	$\Sigma$	1562,6643
NaCl	0,0000		
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000		
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}$	91,3728		
$\text{H}_2\text{O}$	963,0086		
$\Sigma$	1233,5331		
total	13084,4747		13084,4747

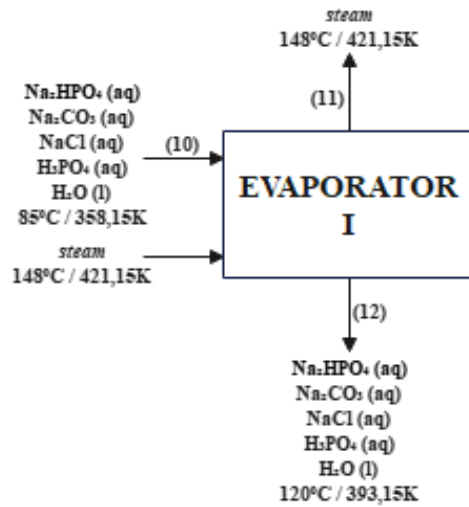




## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 3. EVAPORATOR



kondisi operasi:  $T = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $P = 1 \text{ atm}$

komposisi aliran masuk sebelum *recycle*

komponen	berat (kg/jam)
dari R-210 (10)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
NaCl	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4809,0958
H <sub>2</sub> O	5119,1717
total	10116,8482

kadar luaran reaktor = 47,5 % Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>

kadar pemekatan pada evaporator I = 60 % Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>

#### Neraca massa total evaporator I

$$F = V_1 + L_1$$

#### Neraca massa komponen evaporator I

$$F \cdot x_F = V_1 \cdot y_{V_1} + L_1 \cdot x_{L_1}$$

$$x = \frac{x_n}{x_{\text{total}}}$$

Neraca massa komponen

$$F \cdot x_F = L_1 \cdot x_{L_1}$$

$$10116,8482 \cdot 0,48 = L_1 \cdot 0,60$$

$$4809,0958 = L_1 \cdot 0,60$$

$$L_1 = 8015,1596 \text{ kg/jam}$$

Neraca massa total evaporator I

$$F = V_1 + L_1$$

$$10116,8482 = V_1 + 8015,1596$$

$$V_1 = 2101,6886 \text{ kg/jam}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Berat non-H}_2\text{O dalam feed} &= 10116,8482 \text{ kg/jam} - 5119,1717 \text{ kg/jam} \\ &= 4997,6765 \text{ kg/jam} \\ \text{Berat H}_2\text{O dalam produk} &= 8015,1596 \text{ kg/jam} - 4997,677 \text{ kg/jam} \\ &= 3017,4831 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

### Neraca Massa Evaporator I sebelum *recycle*

input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari R-210 (10)		ke V-320 (12)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4809,0958	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4809,0958
H <sub>2</sub> O	5119,1717	H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>	3017,4831
		Σ	188,5807
		ke V-320 (11)	
		H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>	2101,6886
total	10116,8482		10116,8482

komposisi aliran masuk sesudah *recycle*

komponen	berat (kg/jam)
dari R-210 (10)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383
NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645
H <sub>2</sub> O	6195,8077
total	11521,8104

$$\text{kadar luaran reaktor} = 44,5 \% \text{ Na}_2\text{HPO}_4$$

$$\text{kadar pemekatan pada evaporator I} = 60 \% \text{ Na}_2\text{HPO}_4$$

### Neraca massa total evaporator I

$$F = V_1 + L_1$$

### Neraca massa komponen evaporator I

$$F \cdot x_F = V_1 \cdot y_{V_1} + L_1 \cdot x_{L_1}$$

$$x = \frac{x_n}{x_{total}}$$

Neraca massa komponen

$$\begin{aligned} F \cdot x_F &= L_1 \cdot x_{L_1} \\ 11521,8104 \cdot 0,445 &= L_1 \cdot 0,60 \\ 5128,4645 &= L_1 \cdot 0,60 \\ L_1 &= 8547,4408 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Neraca massa total evaporator I

$$F = V_1 + L_1$$

$$11521,8104 = V_1 + 8547,4408$$

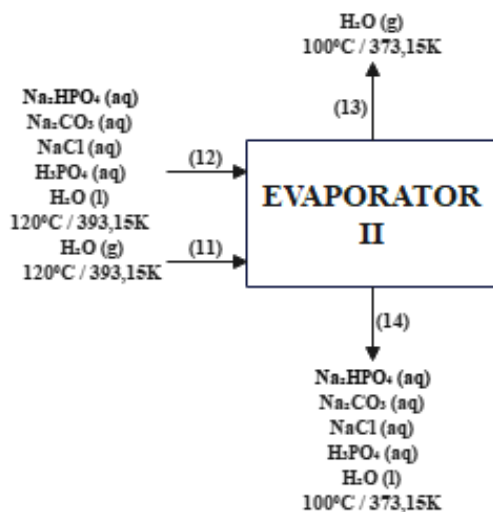
$$V_1 = 2974,3696 \text{ kg/jam}$$

Berat non-H<sub>2</sub>O dalam *feed* = 11521,8104 kg/jam - 6195,8077 kg/jam  
 = 5326,0028 kg/jam

Berat H<sub>2</sub>O dalam produk = 8547,4408 kg/jam - 5326,003 kg/jam  
 = 3221,4380 kg/jam

Neraca Massa Evaporator I sesudah *recycle*

input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari R-210 (10)		ke V-320 (12)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645
H <sub>2</sub> O	6195,8077	H <sub>2</sub> O (l)	3221,4380
		Σ	8547,4408
		ke V-320 (11)	
		H <sub>2</sub> O (g)	2974,3696
total	11521,8104		11521,8104



kondisi operasi: T = 60 °C  
 P = 1 atm



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

komposisi aliran masuk sebelum *recycle*

komponen	berat (kg/jam)
dari V-310 (12)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807
NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4809,0958
H <sub>2</sub> O	3017,4831
total	8015,1596

$$\text{kadar luaran reaktor} = 60 \% \text{ Na}_2\text{HPO}_4$$

$$\text{kadar pemekatan pada evaporator II} = 80 \% \text{ Na}_2\text{HPO}_4$$

### Neraca massa total evaporator II

$$L_1 = V_2 + L_2$$

### Neraca massa komponen evaporator II

$$L_1 \cdot x_{L_1} = V_2 \cdot x_{V_2} + L_2 \cdot x_{L_2}$$

$$x = \frac{x_n}{x_{\text{total}}}$$

### Neraca massa komponen Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>

$$L_1 \cdot x_{L_1} = L_2 \cdot x_{L_2}$$

$$8015,1596 \cdot 0,60 = L_2 \cdot 0,80$$

$$4809,0958 = L_2 \cdot 0,80$$

$$L_2 = 6011,3697 \text{ kg/jam}$$

### Neraca massa total evaporator II

$$L_1 = V_2 + L_2$$

$$8015,1596 = V_2 + 6011,3697$$

$$V_2 = 2003,7899 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat non-H}_2\text{O dalam feed} &= 8015,1596 \text{ kg/jam} - 3017,4831 \text{ kg/jam} \\ &= 4997,6765 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat H}_2\text{O dalam produk} &= 6011,3697 \text{ kg/jam} - 4997,6765 \text{ kg/jam} \\ &= 1013,6932 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Neraca Massa Evaporator II

input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari V-310 (12)		ke S-330 (14)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	NaCl	0,0000
NaCl	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4809,0958	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4809,0958
H <sub>2</sub> O	3017,4831	H <sub>2</sub> O	1013,6932
		Σ	6011,3697
		ke E-321 (13)	
		H <sub>2</sub> O (g)	2003,7899
total	8015,1596		8015,1596

komposisi aliran masuk sesudah *recycle*

komponen	berat (kg/jam)
dari V-310 (12)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383
NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645
H <sub>2</sub> O	3221,4380
total	8547,4408

kadar luaran reaktor = 60 % Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>

kadar pemekatan pada evaporator II = 80 % Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>

### Neraca massa total evaporator II

$$L_1 = V_2 + L_2$$

### Neraca massa komponen evaporator II

$$L_1 \cdot x_{L_1} = V_2 \cdot x_{V_2} + L_2 \cdot x_{L_2}$$

$$x = \frac{x_n}{x_{total}}$$

Neraca massa komponen Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>

$$\begin{aligned}
 L_1 \cdot x_{L_1} &= L_2 \cdot x_{L_2} \\
 8547,4408 \cdot 0,60 &= L_2 \cdot 0,80 \\
 5128,4645 &= L_2 \cdot 0,80 \\
 L_2 &= 6410,5806 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Neraca massa total evaporator II

$$\begin{aligned}
 L_1 &= V_2 + L_2 \\
 8547,4408 &= V_2 + 6410,5806 \\
 V_2 &= 2136,8602 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Berat non-H<sub>2</sub>O dalam *feed* = 8547,4408 kg/jam - 3221,4380 kg/jam  
= 5326,0028 kg/jam

Berat H<sub>2</sub>O dalam produk = 6410,5806 kg/jam - 5326,0028 kg/jam  
= 1084,5778 kg/jam



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Neraca Massa Evaporator II sesudah *recycle*

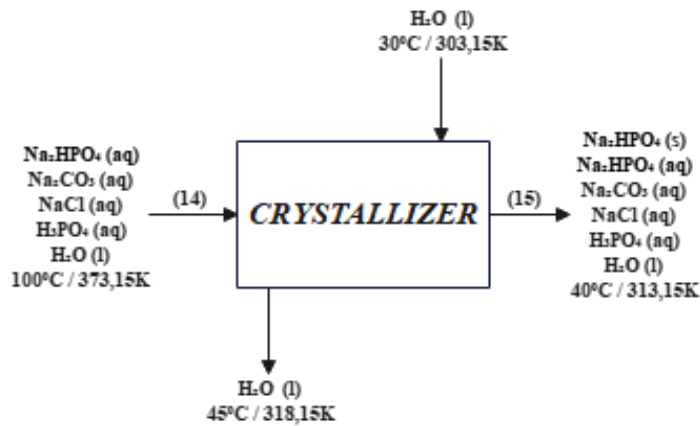
input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari V-310 (12)		ke S-330 (14)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	NaCl	0,0000
NaCl	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645
H <sub>2</sub> O	3221,4380	H <sub>2</sub> O	1084,5778
		Σ	6410,5806
		ke E-321 (13)	
		H <sub>2</sub> O (g)	2136,8602
total	8547,4408		8547,4408



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 4. CRYSTALLIZER



kondisi operasi:  $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $P = 1 \text{ atm}$

komposisi aliran masuk sebelum *recycle*

komponen	berat (kg/jam)
dari V-320 (14)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807
NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4809,0958
H <sub>2</sub> O	1013,6932
total	6011,3697

Pembentukan kristal:

$$P = \frac{R \cdot 100 W_0 - S (H_0 - E)}{100 - S (R - 1)}$$

digunakan *crystallizer* berpendingin sehingga tidak terjadi penguapan

$$\begin{aligned} \text{kelarutan Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}/100\text{kg H}_2\text{O pada } 40^\circ\text{C} &= \frac{20,8 \text{ kg Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}}{100 \text{ kg H}_2\text{O}} \\ &= 0,2080 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{\text{BM kristal Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}}{\text{BM kristal Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)}} \\ &= \frac{171,17}{142} = 1,2054 \end{aligned}$$

$$S = \frac{\text{kelarutan Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}}{1 - \text{kelarutan Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}} \cdot 100 \quad (\text{Perry 9th ed; table 2-20 pp. 122})$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,2080}{0,7920} \cdot 100 \\ &= 26,2626 \end{aligned}$$

$$H_0 = W_{\text{total}} - W_0$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$= 1202,2739 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned}
 P &= R \cdot \frac{100 W_0 - S (H_0-E)}{100 - S (R-1)} \\
 &= 1,2054 \cdot \frac{100 \cdot 4809,0958 - 26,2626 \cdot 1202,2739}{100 - 26,2626 (1,2054 - 1)} \\
 &= 1,2054 \cdot \frac{480909,5780 - 31574,8713}{100 - 5,3956} \\
 &= 1,2054 \cdot \frac{449334,7067}{94,6044} \\
 &= 5725,4208 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Yield kristalisasi} = 98 \%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ terkrystalkan} &= \text{yield} \cdot W \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} \\
 (\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)}) &= 4712,9139 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{sisas Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} &= W \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} - W \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)} \\
 &= 96,1819 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{berat H}_2\text{O kristal} &= P - \text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)} \\
 &= 1012,5070 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{sisas kristalisasi} &= \text{H}_2\text{O feed} - \text{H}_2\text{O kristal} \\
 &= 1,1863 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### Neraca Massa Crystallizer sebelum *recycle*

input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari V-320 (14)		ke H-340 (15)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4809,0958	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	96,1819
H <sub>2</sub> O	1013,6932	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	4712,9139
		H <sub>2</sub> O	1013,6932
total	6011,3697		6011,3697

### komposisi aliran masuk sesudah *recycle*

komponen	berat (kg/jam)
dari V-320 (14)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383
NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645
H <sub>2</sub> O	1084,5778
total	6410,5806





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Pembentukan kristal:

$$P = \frac{R \cdot 100 W_0 - S (H_0 - E)}{100 - S (R-1)}$$

digunakan *crystallizer* berpendingin sehingga tidak terjadi penguapan kelarutan  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (aq)/100kg  $\text{H}_2\text{O}$  pada  $40^\circ\text{C}$  =  $\frac{20,8 \text{ kg Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}}{100 \text{ kg H}_2\text{O}}$  = 0,2080

$$R = \frac{\text{BM kristal Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}}{\text{BM kristal Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)}} = \frac{171,17}{142} = 1,2054$$

$$S = \frac{\text{kelarutan Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}}{1 - \text{kelarutan Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}} \cdot 100 \quad (\text{Perry 9th ed; table 2-20 pp. 122})$$
$$= \frac{0,2080}{0,7920} \cdot 100 = 26,2626$$

$$H_0 = W_{\text{total}} - W_0 = 1282,1161 \text{ kg/jam}$$

$$P = \frac{R \cdot 100 W_0 - S (H_0 - E)}{100 - S (R-1)}$$
$$= 1,2054 \cdot \frac{100 \cdot 5128,4645 - 26,2626 \cdot 1282,1161}{100 - 26,2626 (1,2054 - 1)}$$
$$= 1,2054 \cdot \frac{512846,4477 - 33671,7365}{100 - 5,3956}$$
$$= 1,2054 \cdot \frac{479174,7112}{94,6044}$$
$$= 6105,6420 \text{ kg}$$

$$\text{Yield kristalisasi} = 98 \%$$

$$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ terkristalkan (Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s))} = \text{yield} \cdot W \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} = 5025,8952 \text{ kg/jam}$$

$$\text{sisa Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} = W \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} - W \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)} = 102,5693 \text{ kg/jam}$$

$$\text{berat H}_2\text{O kristal} = P - \text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)} = 1079,7468 \text{ kg}$$

$$\text{sisa kristalisasi} = \text{H}_2\text{O feed} - \text{H}_2\text{O kristal} = 4,8310 \text{ kg}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Neraca Massa Crystallizer sesudah *recycle*

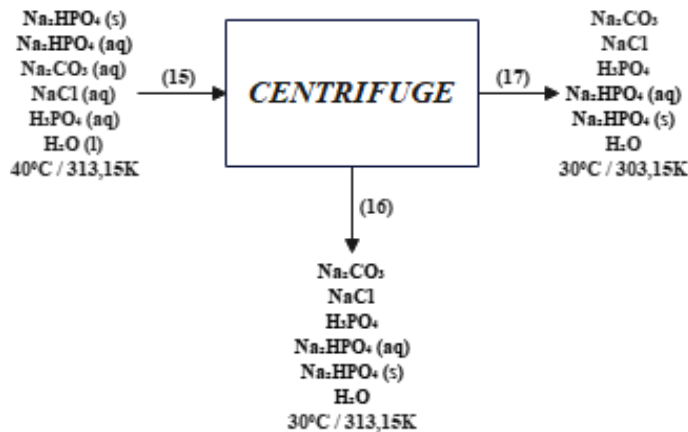
input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari V-320 (14)		ke H-340 (15)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	102,5693
H <sub>2</sub> O	1084,5778	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	5025,8952
		H <sub>2</sub> O	1084,5778
total	6410,5806		6410,5806



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 5. CENTRIFUGE



kondisi operasi:  $T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $P = 1 \text{ atm}$

komposisi aliran masuk sebelum *recycle*

komponen	berat
dari S-330 (15)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
NaCl	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	96,1819
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	4712,9139
H <sub>2</sub> O	1013,6932
total	6011,3697

asumsi liquid terikut solid = 5 %  
 berat liquid terikut solid = 5 %  $\times$  1298,46 kg/jam  
 = 64,92 kg/jam  
 kadar output liquid = 95 %

komposisi output liquid

komponen	berat	5% dalam	output liquid
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807	9,4290	179,1517
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	0,0000
NaCl	0,0000	0,0000	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	96,1819	4,8091	91,3728
H <sub>2</sub> O	1013,6932	50,6847	963,0086
total	1298,4559	64,9228	1233,5331



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

komposisi output solid

komponen	berat	5% dalam	output solid
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	4712,9139		4712,9139
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		9,4290	9,4290
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		0,0000	0,0000
NaCl		0,0000	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)		4,8091	4,8091
H <sub>2</sub> O		50,6847	50,6847
total	4712,9139	64,9228	4777,8367

Neraca Massa Centrifuge sebelum *recycle*

input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari S-330 (15)		ke J-341 (16)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,5807	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,4290
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	96,1819	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	4,8091
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	4712,9139	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	4712,9139
H <sub>2</sub> O	1013,6932	H <sub>2</sub> O	50,6847
		Σ	4777,8367
		ke E-343 (17)	
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	179,1517
		NaCl	0,0000
		H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
		Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	91,3728
		H <sub>2</sub> O	963,0086
		Σ	1233,5331
total	6011,3697		6011,3697

komposisi aliran masuk sesudah *recycle*

komponen	berat
dari S-330 (15)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
NaCl	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	102,5693
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	5025,8952
H <sub>2</sub> O	1084,5778
total	6410,5806



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

asumsi liquid terikut solid = 5 %  
 berat liquid terikut solid = 5 %  $\times$  1384,69 kg/jam  
 = 69,23 kg/jam  
 kadar output liquid = 95 %

komposisi output liquid

komponen	berat	5% dalam	output liquid
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	9,8769	187,6614
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	0,0000
NaCl	0,0000	0,0000	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	102,5693	5,1285	97,4408
H <sub>2</sub> O	1084,5778	54,2289	1030,3489
total	1384,6854	69,2343	1315,4511

komposisi output solid

komponen	berat	5% dalam	output solid
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	5025,8952		5025,8952
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		9,8769	9,8769
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		0,0000	0,0000
NaCl		0,0000	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)		5,1285	5,1285
H <sub>2</sub> O		54,2289	54,2289
total	5025,8952	69,2343	5095,1295

Neraca Massa Centrifuge sesudah *recycle*

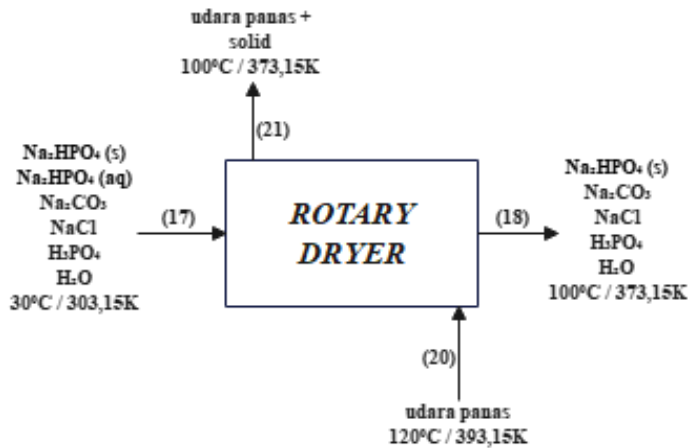
input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari S-330 (15)		ke J-341 (16)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,8769
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	102,5693	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	5,1285
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	5025,8952	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	5025,8952
H <sub>2</sub> O	1084,5778	H <sub>2</sub> O	54,2289
		$\Sigma$	5095,1295
		ke E-343 (17)	
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	187,6614
		NaCl	0,0000
		H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
		Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	97,4408
		H <sub>2</sub> O	1030,3489
		$\Sigma$	1315,4511
total	6410,5806		6410,5806



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 6. ROTARY DRYER



kondisi operasi:  $T = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $P = 1 \text{ atm}$

komposisi aliran masuk

komponen	berat (kg/jam)
dari H-340 (16)	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	9,8769
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000
$\text{NaCl}$	0,0000
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}$	5,1285
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)}$	5025,8952
$\text{H}_2\text{O}$	54,2289
total	5095,1295

Solid terbawa udara (asumsi) = 1,00 %

komponen	berat (kg/jam)	solid dalam udara (kg/jam)	output (kg/jam)
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	9,8769	0,0988	9,7781
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)}$	5025,8952	50,2590	4975,6362
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)}$	5,1285	0,0513	5,0772
$\text{H}_2\text{O}$	54,2289	0,5423	53,6866
total	5095,1295	50,9513	5044,1782
		5095,1295	

kadar  $\text{H}_2\text{O}$  dalam produk = 0,2 %  
 sehingga kadar produk = 99,8 %



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

berat akhir produk	= output solid : kadar produk
	= 5044,1782 : 99,8 %
	= 5054,2867 kg/jam
berat H <sub>2</sub> O pada produk	= berat akhir produk - berat produk solid
	= 5054,2867 - 5044,1782
	= 10,1086 kg/jam
berat H <sub>2</sub> O menguap	= berat H <sub>2</sub> O feed - berat H <sub>2</sub> O produk
	= 54,2289 - 10,1086
	= 44,1203 kg/jam

### Neraca Massa Rotary Dryer

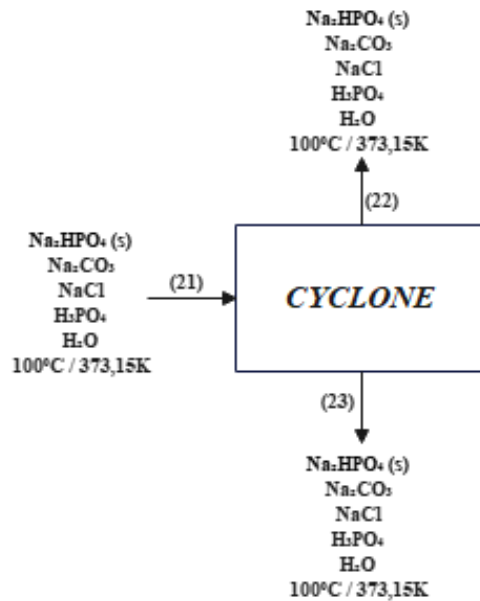
input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari H-340 (16)		ke J-351 (19)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,8769	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,7781
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	5,1285	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	4980,7134
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	5025,8952	H <sub>2</sub> O	10,1086
H <sub>2</sub> O	54,2289	Σ	5000,6001
		ke H-355 (22)	
		Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	50,3102
		H <sub>2</sub> O (g)	44,1203
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,0988
		NaCl	0,0000
		H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
		Σ	94,5293
total	5095,1295		5095,1295



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 7. CYCLONE



kondisi operasi:  $T = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $P = 1 \text{ atm}$

komposisi aliran masuk

komponen	berat (kg/jam)
dari B-350 (22)	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,0988
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000
$\text{NaCl}$	0,0000
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)}$	50,3102
$\text{H}_2\text{O (g)}$	44,1203
total	94,5293

solid yang hilang (asumsi) = 1 %

produk akhir = 99 % (efisiensi cyclone)

komponen	berat (kg/jam)	solid hilang (kg/jam)	produk (kg/jam)
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,0988	0,0010	0,0978
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)}$	50,3102	0,5031	49,8071
total	50,4090	0,5041	49,9049
		50,4090	





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Neraca Massa Cyclone

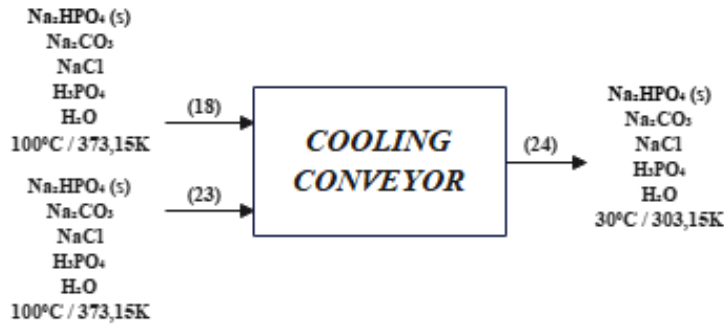
input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari B-350 (22)		ke J-351 (24)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,0988	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	49,8071
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>2</sub> O	0,0000
NaCl	0,0000	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,0978
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	50,3102	NaCl	0,0000
H <sub>2</sub> O	44,1203	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
		∑	49,9049
		buangan udara (23)	
		Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	0,5031
		H <sub>2</sub> O	44,1203
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,0010
		NaCl	0,0000
		H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
		∑	44,6244
total	94,5293		94,5293



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 8. COOLING CONVEYOR



kondisi operasi:  $T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $P = 1 \text{ atm}$

komposisi aliran masuk

komponen	berat (kg/jam)	
	dari H-355 (24)	dari B-350 (19)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,0978	9,7781
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000
NaCl	0,0000	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	49,8071	4980,7134
H <sub>2</sub> O	0,0000	10,1086
total	49,9049	5000,6001
	5050,5051	

#### Neraca Massa Cooling Conveyor

input (kg/jam)		output (kg/jam)	
dari B-350 (19)		ke C-360 (25)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,7781	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	5030,5205
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>2</sub> O	10,1086
NaCl	0,0000	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,8759
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	4980,7134	NaCl	0,0000
H <sub>2</sub> O	10,1086	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
$\Sigma$	5000,6001		
dari H-355 (24)			
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,0978		
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000		
NaCl	0,0000		
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	49,8071		
H <sub>2</sub> O	0,0000		
$\Sigma$	49,9049		
total	5050,5051		5050,5051



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### SPESIFIKASI PRODUK

komponen	berat	%berat
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	9,8759	0,20
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,00
$\text{NaCl}$	0,0000	0,00
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ (s)	5030,5205	99,60
$\text{H}_2\text{O}$	10,1086	0,20
total	5050,5051	100,00

### KAPASITAS PRODUKSI

produk $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ yang diperoleh	=	5050,5051	kg/jam
	=	121212,1212	kg/hari
	=	40000000	kg/tahun
	=	40000	ton/tahun



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### APPENDIX B NERACA ENERGI

Kapasitas produksi	=	40000	ton/tahun		
		=	5050,5051	kg/jam	
Waktu operasi	=	330	hari/tahun		
		=	24	jam/hari	
Basis satuan					
satuan massa	=	kg/jam			
satuan panas	=	kcal/jam			
basis suhu	=	25 °C = 298,15 K =	77	°F	
basis perhitungan	=	1 jam operasi			
Konversi					
1 Btu	=	0,25	kcal		
1 Btu/lb	=	2,33	kJ/kg		
1 kkal	=	4,184	kJ		
1 Joule	=	0,001	kJ		
1 °C	=	274,15	K		
1 Btu/lbm	=	0,556	kkal/kg		
1 gallon	=	0,0038	m <sup>3</sup>		
1 Joule	=	0,239	cal		



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

penentuan panas (*steady state*):  $Q = \Delta H$  (Smith van Ness 8edd)  
 $= H_2 - H_1$  (pg 43, 2.22)

$$\Delta H = n \cdot C_p \cdot \Delta T = n \int_{T_{ref}}^T C_p \Delta T$$

$$C_p = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 \quad (\text{himmellau; pg 692, 23.11})$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= n \int_{T_1}^{T_2} C_p \Delta T \\ &= n \int_{T_1}^{T_2} (A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3) \Delta T \\ &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \end{aligned}$$

$$C_p = A + B \cdot T + \frac{C}{T}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= n \int_{T_1}^{T_2} C_p \Delta T \\ &= n \int_{T_1}^{T_2} \left( A + B \cdot T + \frac{C}{T} \right) \Delta T \\ &= n \left[ (A \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{B}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C}{\left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} \right) \right] \end{aligned}$$

Keterangan : H = Panas ; kkal  
n = Berat Bahan ; kmol  
Cp = Specific Heat ; kkal/kmol.Kelvin  
T<sub>ref</sub> = Suhu Reference ; Kelvin  
T<sub>ref</sub> = Suhu ; Kelvin



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Data konstanta kapasitas panas

komponen	BM (kg/kmol)	A	B	C	D	Sumber
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s) (K; J)	106	121				Himmebl
NaCl (s) (K; cal)	58,5	10,79	0,0042			Perry; Ta
NaCl (aq) (K; cal)	58,5	15,9				Perry; Ta
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	268,09	86,6				Perry; Ta
CO <sub>2</sub> (g) (K; cal)	44	10,34	0,00274	-195500		Perry; Ta
H <sub>2</sub> O (l) (K; J)	18	18,2964	4721,2	-1E+07	1,3E+12	Himmebl
H <sub>2</sub> O (g) (K; cal)	18	8,22	0,00015	1,3E-06		Perry; Ta
HCl (g) (K; cal)	36,5	6,7	0,00084			Perry; Ta
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98					
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	142					
Udara	28,96					

sumber: Perry, Table 2-72

komponen	BM (kg/kmol)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
H <sub>2</sub> O (l) (K; J)	18	276370	-2090,1	8,125	-0,0141	9,4E-06

sumber: Perry, Table 2-72

komponen	BM (kg/kmol)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
H <sub>2</sub> O (l) (K; J)	18	2,9E-06	9,4E-07	0,00301	7,6E-07	1484

komponen	solid	liquid
C	7,5	11,7
H	9,6	18,0
B	11,0	19,7
Si	16,0	24,3
O	16,7	25,1
F	21,0	29,3
H	9,6	18,0
P and S	22,6	31,0
all others	26,0	33,5

(Coulson & Richarson's; Tabel 8.2)



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

penentuan kapasitas panas  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$

$\text{H}_3\text{PO}_4$  (l)

komponen	$\Sigma$	$C_p$	
H	3	18,00	54
P	1	31,00	31
O	4	25,10	100,4
			<hr/>
			185,40 J/mol. $^{\circ}\text{C}$

$\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (l)

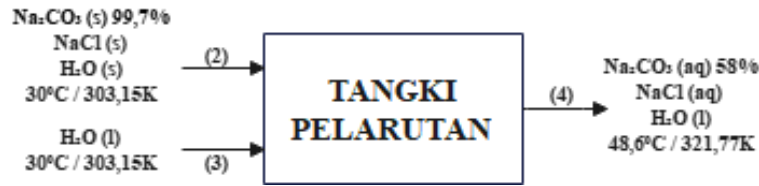
komponen	$\Sigma$	$C_p$	
Na	2	33,5	67
H	1	18,0	18
P	1	31,0	31
O	4	25,1	100,4
			<hr/>
			216,40 J/mol. $^{\circ}\text{C}$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 1. TANGKI PELARUTAN Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



#### Entalpi bahan masuk

komponen	%berat	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	99,70	3771,6145	35,5813
NaCl	0,20	7,5659	0,1293
H <sub>2</sub> O	0,10	3,7830	0,2102
total	100	3782,9634	35,9208

$$\text{suhu bahan masuk} = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 35,5813 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 5 \text{ K} \\ &= 35581,2691 \text{ mol/jam} \times 605 \text{ J/mol} \\ &= 21526667,8066 \text{ J/jam} \\ &= 5141556,2737 \text{ cal/jam} \\ &= 5141,5563 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,1293 \text{ kmol/jam} \times 10,79 \times 5 \text{ K} + \\ &\quad 0,0042 \times 3006,50 \text{ K} \\ &= 129,3321 \text{ mol/jam} \times 66,5773 \text{ cal/kmol} \\ &= 8610,5809 \text{ cal/jam} \\ &= 8,6106 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ H}_2\text{O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right) \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \right] \\ &= 0,2102 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 5 \text{ K} + -1045,1 \times \\ &\quad 3006,5 \text{ K} + 2,70833 \times 1355888 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 5,4\text{E}+08 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 2\text{E}+11 \text{ K} \\ &= 0,2102 \text{ kmol/jam} \times 376738,0481 \text{ J/kmol} \\ &= 79177,0141 \text{ J/jam} \\ &= 18911,1049 \text{ cal/jam} \\ &= 18,9111 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ bahan masuk} &= \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 + \Delta H \text{ NaCl} + \Delta H \text{ H}_2\text{O} \\ &= 5169,0780 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
H <sub>2</sub> O	2719,8202	151,1011

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ pelarut} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot T_2^3 - T_1^3 \right) \right] \\ &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\ &= 151,1011 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 5 \text{ K} + -1045,1 \\ &\quad \times 3006,5 \text{ K} + 2,70833 \times 1355888 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 5,4\text{E}+08 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 2\text{E}+11 \text{ K} \\ &= 151,1011 \text{ kmol/jam} \times 376738,0481 \text{ J/kmol} \\ &= 56925542,8695 \text{ J/jam} \\ &= 13596432,3277 \text{ cal/jam} \\ &= 13596,4323 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ total} &= \Delta H \text{ total Na}_2\text{CO}_3 + \Delta H \text{ pelarut} \\ &= 18765,5103 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

### Entalpi Pelarutan ( $\Delta H_s$ )

Berdasarkan Perry 9<sup>ed</sup> tabel 2-66 pg. 152 diketahui :

$$\text{Panas pengenceran Na}_2\text{CO}_3 (\Delta H_s) = 7000 \text{ Kkal/kmol}$$

$$\text{Panas pengenceran NaCl} (\Delta H_s) = 7220 \text{ Kkal/kmol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_s \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= \frac{m \text{ Na}_2\text{CO}_3 \times \Delta H_s}{\text{BM Na}_2\text{CO}_3} \\ &= \frac{3771,6145 \text{ kg/jam}}{106 \text{ kg/kmol}} \times 7000 \frac{\text{kcal}}{\text{kmol}} \\ &= 249068,8837 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_s \text{ NaCl} &= \frac{m \text{ NaCl} \times \Delta H_s}{\text{BM NaCl}} \\ &= \frac{7,5659 \text{ kg/jam}}{58,5 \text{ kg/kmol}} \times 7220 \frac{\text{kcal}}{\text{kmol}} \\ &= 933,7776 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{entalpi pelarutan total} &= 249068,8837 \text{ kcal/jam} + 933,7776 \text{ kcal/jam} \\ &= 250002,6613 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Entalpi bahan keluar

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	fraksi
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	35,5813	0,19025
NaCl	7,5659	0,1293	0,00069
H <sub>2</sub> O	2723,6032	151,3113	0,80906
total	6502,7837	187,0219	1

### Data Heat Capacity (Cp) pada suhu 30 °C (303,15 K) :

$$\begin{aligned}
 C_p \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= 109,6 \text{ J/mol}^\circ\text{C} = 109,6 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\
 &= 382,75 \text{ J/mol.K} \\
 &= 91,4183 \text{ kcal/mol.K} \\
 C_p \text{ NaCl} &= 52,0 \text{ J/mol}^\circ\text{C} = 52 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\
 &= 325,15 \text{ J/mol.K} \\
 &= 77,6607 \text{ kcal/mol.K} \\
 C_p \text{ H}_2\text{O} &= 35,9 \text{ J/mol}^\circ\text{C} = 35,9 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \\
 &= 309,05 \text{ J/mol.K} \\
 &= 73,8153 \text{ kcal/mol.K} \\
 C_p \text{ total Na}_2\text{CO}_3 &= \sum \text{fraksi} \times C_p \\
 &= 77,17 \text{ kcal/mol.K}
 \end{aligned}$$

$$\text{Entalpi bahan masuk} + \Delta H_s = 268768,1716 \text{ kcal/jam}$$

$$Q \text{ bahan keluar} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$268768,1716 = 14431,9139 \times T - 303,15 \text{ K}$$

$$268768,1716 = 14431,9139 T - 4375034,6983$$

$$\begin{aligned}
 T &= 321,77 \text{ K} \quad (\text{suhu campuran}) \\
 &= 48,6 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{keluar})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\
 &= 35,58 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 23,6 \text{ K} \\
 &= 35581,2691 \text{ mol/jam} \times 2858,4051 \text{ J/mol} \\
 &= 101705682,0190 \text{ J/jam} \\
 &= 24291984,8139 \text{ cal/jam} \\
 &= 24291,9848 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\
 &= 0,1293 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 23,6 \text{ K} \\
 &= 129,3321 \text{ mol/jam} \times 375,6086 \text{ cal/mol} \\
 &= 48578,2434 \text{ cal/jam} \\
 &= 48,5782 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \Delta H_{H_2O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot T_2^3 - T_1^3 \right) \right] \\ &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\ &= 151,3113 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 23,6 \text{ K} + -1045,1 \\ &\quad \times 14644,6 \text{ K} + 2,70833 \times 6812172 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 2,8E+09 \text{ K} + 1,9E-06 \times 1,1E+12 \text{ K} \\ &= 151,3113 \text{ kmol/jam} \times 1778245,7517 \text{ J/kmol} \\ &= 269068657,8254 \text{ J/jam} \\ &= 64265944,8327 \text{ cal/jam} \\ &= 64265,9448 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{total keluar}} &= \Delta H_{Na_2CO_3} + \Delta H_{NaCl} + \Delta H_{H_2O} \\ &= 88606,5079 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{masuk}} = \Delta H_{\text{keluar}}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{total bahan masuk}} + \Delta H_s &= \Delta H_{\text{total bahan keluar}} + Q_{\text{serap}} \\ 268768,1716 \text{ kcal/jam} &= 88606,5079 \text{ kcal/jam} + Q_{\text{serap}} \\ Q_{\text{serap}} &= 180161,6637 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

### Neraca Energi Tangki Pelarutan

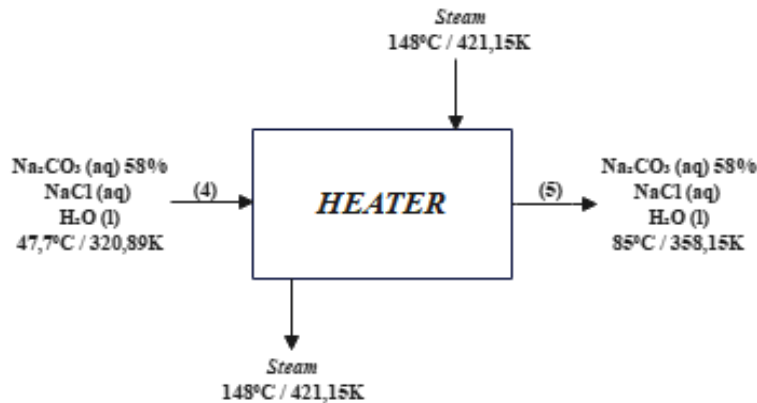
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari J-123 (2)		ke E-132 (4)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5141,5563	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	24291,9848
NaCl	8,6106	NaCl	48,5782
H <sub>2</sub> O	18,9111	H <sub>2</sub> O	64265,9448
Air Proses (3)			
H <sub>2</sub> O	13596,4323		
Panas Pelarutan			
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	249068,8837		
NaCl	933,7776	Q <sub>serap</sub>	180161,6637
<b>Total</b>	<b>268768,1716</b>	<b>Total</b>	<b>268768,1716</b>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 2. HEATER Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



entalpi larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> masuk (4)

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	ΔH (kcal/jam)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	35,5813	24291,9848
NaCl	7,5659	0,1293	48,5782
H <sub>2</sub> O	2723,6032	0,2102	64265,9448
total	6502,7837	35,9208	88606,5079

suhu bahan masuk = 48,6 °C = 321,773 K

entalpi larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> keluar (5)

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	35,5813
NaCl	7,5659	0,1293
H <sub>2</sub> O	2723,6032	151,3113
total	6502,7837	187,0219

suhu bahan keluar = 85 °C = 358,15 K

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{Na}_2\text{CO}_3} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\
 &= 35,5813 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 36,4 \text{ K} \\
 &= 35581,2691 \text{ mol/jam} \times 4401,594873 \text{ J/mol} \\
 &= 156614331,6607 \text{ J/jam} \\
 &= 37406690,4702 \text{ cal/jam} \\
 &= 37406,6905 \text{ kcal/jam} \\
 \Delta H_{\text{NaCl}} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\
 &= 0,1293 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 36,4 \text{ K} \\
 &= 129,3321 \text{ mol/jam} \times 578,3914 \text{ cal/mol} \\
 &= 74804,5633 \text{ cal/jam} \\
 &= 74,8046 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \Delta H_{H_2O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot T_2^3 - T_1^3 \right) \right] \\ &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\ &= 151,3113 \text{ kmol/jar} \times 276370 \times 36,4 \text{ K} + -1045,1 \\ &\quad \times 24733,4 \text{ K} + 2,70833 \times 1,3E+07 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 5,7E+09 \text{ K} + 1,9E-06 \times 2,4E+12 \text{ K} \\ &= 151,3113 \text{ kmol/jar} \times 2743226,4152 \text{ J/kmol} \\ &= 415081126,3988 \text{ J/jam} \\ &= 99140423,8079 \text{ cal/jam} \\ &= 99140,4238 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{total keluar}} &= \Delta H_{Na_2CO_3} + \Delta H_{NaCl} + \Delta H_{H_2O} \\ &= 136621,9188 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

Panas yang diberikan steam (Qs) :

$$\text{Asumsi } Q_{\text{loss}} = 5\% \text{ } Q_{\text{supply}} \quad (\text{maks } 10\% ; \text{ Ulrich } 432, 1984)$$

### Neraca Energi Total

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{bahan masuk}} + Q_{\text{supply}} &= \Delta H_{\text{bahan keluar}} + Q_{\text{loss}} \\ 88606,5079 + Q_{\text{supply}} &= 136621,9188 + 5\% \text{ } Q_{\text{supply}} \\ Q_{\text{supply}} &= 50542,5378 \text{ kcal/jam} \\ Q_{\text{loss}} &= 2527,1269 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

### Kebutuhan Steam

Digunakan steam dengan low-pressure pada suhu 148°C dan tekanan 4,5 atm (*Ulrich, app B hal 426*)

Panas laten saturated steam pada suhu 148 °C diperoleh :

$$\begin{aligned} \lambda &= 1010 \text{ Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig. 12, hal. 815}) \\ &= 2353,30 \text{ kJ/kg} \\ &= 562,08 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

Jadi jumlah steam yang dibutuhkan sebesar :

$$\begin{aligned} M_{\text{steam}} &= \frac{Q_{\text{supply}}}{\lambda_{\text{steam}}} \\ &= \frac{50542,5378}{562,08} = 89,9212 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Neraca Energi *Heater* $\text{Na}_2\text{CO}_3$

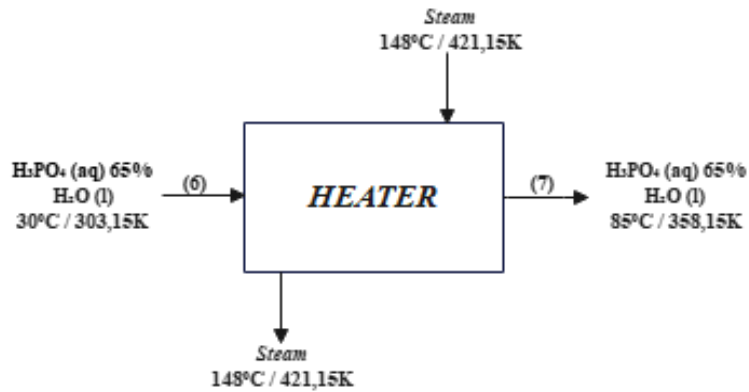
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari M-130 (4)		ke R-210 (5)	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	24291,9848	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	37406,6905
NaCl	48,5782	NaCl	74,8046
$\text{H}_2\text{O}$	64265,9448	$\text{H}_2\text{O}$	99140,4238
$Q_{\text{supply}}$	50542,5378	$Q_{\text{loss}}$	2527,1269
<b>Total</b>	139149,0457	<b>Total</b>	139149,0457



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 3. HEATER H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>



entalpi larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> masuk (6)

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	3476,3027	35,4725
H <sub>2</sub> O	1871,8553	103,9920
total	5348,1580	139,4644

suhu bahan masuk = 30 °C = 303,15 K

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{H}_3\text{PO}_4} &= n \times C_p \times \Delta T \\
 &= 35,4725 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{C} \times 5 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 35472,4765 \text{ mol/jam} \times 927 \text{ J/mol} \\
 &= 32882985,6750 \text{ J/jam} \\
 &= 7853966,1973 \text{ cal/jam} \\
 &= 7853,9662 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot T_2^3 - T_1^3 \right) \right] \\
 &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\
 &= 103,99 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 5,0 \text{ K} + -1045,1 \times \\
 &\quad 3006,5 \text{ K} + 2,70833 \times 1355888 \text{ K} + -0,0035 \times \\
 &\quad 5,4\text{E}+08 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 2\text{E}+11 \text{ K} \\
 &= 103,99 \text{ kmol/jam} \times 376738,0481 \text{ J/kmol} \\
 &= 39177728,3683 \text{ J/jam} \\
 &= 9357439,6600 \text{ cal/jam} \\
 &= 9357,4397 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{total}} (4) &= \Delta H_{\text{H}_3\text{PO}_4} + \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} \\
 &= 17211,4059 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

entalpi larutan  $H_3PO_4$  keluar (7)

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
$H_3PO_4$	3476,3027	35,4725
$H_2O$	1871,8553	103,9920
total	5348,1580	139,4644

$$\text{suhu bahan keluar} = 85 \text{ } ^\circ\text{C} = 358,15 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{H_3PO_4} &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 35,4725 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 55 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 35472,48 \text{ mol/jam} \times 10197 \text{ J/mol} \\ &= 361712842,4248 \text{ J/jam} \\ &= 86393628,1706 \text{ cal/jam} \\ &= 86393,6282 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H_{H_2O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot T_2^3 - T_1^3 \right) \right] \\ &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\ &= 103,9920 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 55,0 \text{ K} + -1045,1 \\ &\quad \times 36371,5 \text{ K} + 2,70833 \times 1,8E+07 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 8E+09 \text{ K} + 1,9E-06 \times 3,3E+12 \text{ K} \\ &= 103,9920 \text{ kmol/jam} \times 4144734,1188 \text{ J/kmol} \\ &= 431019028,3965 \text{ J/jam} \\ &= 102947126,3009 \text{ cal/jam} \\ &= 102947,1263 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H_{\text{total}} (5) &= \Delta H_{H_3PO_4} + \Delta H_{H_2O} \\ &= 189340,7545 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

Panas yang diberikan steam ( $Q_s$ ):

$$\text{Asumsi } Q_{\text{loss}} = 5\% \text{ } Q_{\text{supply}} \quad (\text{maks } 10\% ; \text{Ulrich } 432, 1984)$$

### Neraca Energi Total

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{bahan masuk}} + Q_{\text{supply}} &= \Delta H_{\text{bahan keluar}} + Q_{\text{loss}} \\ 17211,4059 + Q_{\text{supply}} &= 189340,7545 + 5\% \text{ } Q_{\text{supply}} \\ Q_{\text{supply}} &= 181188,7880 \text{ kcal/jam} \\ Q_{\text{loss}} &= 9059,4394 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Kebutuhan Steam

Digunakan steam dengan low-pressure pada suhu 148 °C dan tekanan 4,5 atm (*Ulrich, app B hal 426*)

Panas laten saturated steam pada suhu 148 °C diperoleh :

$$\begin{aligned}\lambda &= 1010 \quad \text{Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig. 12, hal. 815}) \\ &= 2353,30 \quad \text{kJ/kg} \\ &= 562,08 \quad \text{kcal/kg}\end{aligned}$$

Jadi jumlah steam yang dibutuhkan sebesar :

$$\begin{aligned}M \text{ steam} &= \frac{Q \text{ supply}}{\lambda \text{ steam}} \\ &= \frac{181188,7880}{562,08} \\ &= 322,3564 \quad \text{kg/jam}\end{aligned}$$

### Neraca Energi Heater H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

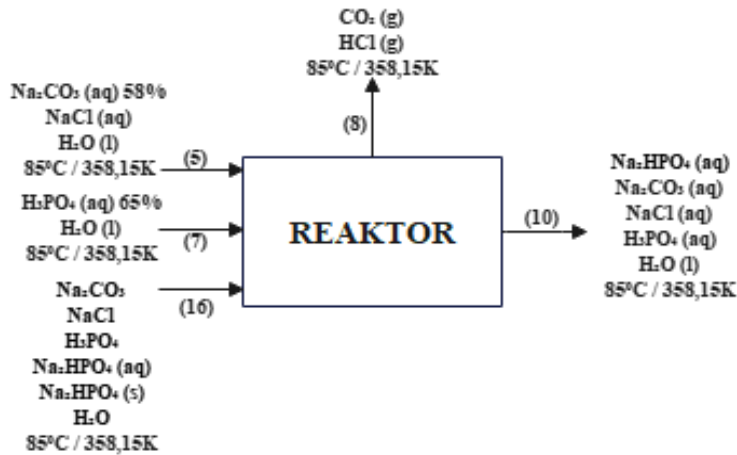
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari F-110 (6)		ke R-210 (7)	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	7853,9662	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	86393,6282
H <sub>2</sub> O	9357,4397	H <sub>2</sub> O	102947,1263
Q <sub>supply</sub>	181188,7880	Q <sub>loss</sub>	9059,4394
<b>Total</b>	<b>198400,1939</b>	<b>Total</b>	<b>198400,1939</b>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 4. REAKTOR



entalpi bahan masuk

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	$\Delta H$ (kcal/jam)
dari E-132 (5)			
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	3771,6145	35,5813	37406,6905
$\text{NaCl}$	7,5659	0,1293	74,8046
$\text{H}_2\text{O}$	2723,6032	151,3113	99140,4238
dari E-112 (7)			
$\text{H}_3\text{PO}_4$	3476,3027	35,4725	86393,6282
$\text{H}_2\text{O}$	1871,8553	103,9920	102947,1263
dari E-343 (18)			
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	179,1517	1,6901	2686,4632
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	91,3728	0,3408	1623,3681
$\text{H}_2\text{O}$	963,0086	53,5005	52962,9421
total	13084,4747	382,0177	383235,4466

suhu bahan masuk =  $85^\circ\text{C} = 358,15\text{K}$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{Na}_2\text{HPO}_4 (\text{aq}) &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\
 &= 0,3408 \text{ kmol/jam} \times 86,60 \text{ cal/mol.K} \times 60 \text{ K} \\
 &= 340,8289 \text{ mol/jam} \times 5196 \text{ cal/mol} \\
 &= 1770946,9647 \text{ cal/jam} \\
 &= 1770,9470 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 1,6901 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 60,0 \text{ K} \\ &= 1690,1103 \text{ mol/jam} \times 7260 \text{ J/mol} \\ &= 12270200,6498 \text{ J/jam} \\ &= 2930687,0760 \text{ cal/jam} \\ &= 2930,6871 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 60,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 954,00 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{C} \times 60 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 11124 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ H}_2\text{O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right) \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \right] \\ &= 53,5005 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 60,0 \text{ K} + -1045,1 \times \\ &\quad 39378,0 \text{ K} + 2,70833 \times 1,9\text{E}+07 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 8,6\text{E}+09 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 3,5\text{E}+12 \text{ K} \\ &= 53,5005 \text{ kmol/jam} \times 4521472,1669 \text{ J/kmol} \\ &= 241900910,5781 \text{ J/jam} \\ &= 57777039,8820 \text{ cal/jam} \\ &= 57777,0399 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

entalpi bahan keluar

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	19,1296
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	1,8636
NaCl	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O	6195,8077	344,2115
CO <sub>2</sub>	1557,9437	35,4078
HCl	4,7206	0,1293
total	13084,4747	400,7419

$$\text{suhu bahan keluar} = 85 \text{ }^\circ\text{C} = 358,15 \text{ K}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{HPO}_4 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 19,1296 \text{ kmol/jam} \times 86,60 \text{ cal/mol.k} \times 60 \text{ K} \\ &= 19129,6373 \text{ mol/jam} \times 5196 \text{ cal/mol} \\ &= 99397595,6599 \text{ cal/jam} \\ &= 99397,5957 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 1,8636 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 60,0 \text{ K} \\ &= 1863,5690 \text{ mol/jam} \times 7260 \text{ J/mol} \\ &= 13529510,7165 \text{ J/jam} \\ &= 3231468,1180 \text{ cal/jam} \\ &= 3231,4681 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 60,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 954,00 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 60 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 11124 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_2\text{O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right) \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \right] \\ &= 344,2115 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 60,0 \text{ K} + -1045,1 \\ &\quad \times 39378,0 \text{ K} + 2,70833 \times 1,9\text{E}+07 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 8,6\text{E}+09 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 3,5\text{E}+12 \text{ K} \\ &= 344,21 \text{ kmol/jam} \times 4521472,17 \text{ J/kmol} \\ &= 1556342880,8512 \text{ J/jam} \\ &= 371726110,8367 \text{ cal/jam} \\ &= 371726,1108 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \Delta H_{CO_2} &= n \left[ (A \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{B}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( C \cdot \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right) \right] \\ &= 35,4078 \text{ kmol/jam} \times 10,34 \times 60,00 \text{ K} + \\ &\quad 0,00137 \times 39378,00 \text{ K} + -195500,00 \times \\ &\quad -0,00056 \text{ K} + \\ &= 35407,8104 \text{ mol/jam} \times 784,1974 \text{ cal/mol} \\ &= 27766712,8699 \text{ cal/jam} \\ &= 27766,7129 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H_{HCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,13 \text{ kmol/jam} \times 6,70 \times 60,00 \text{ K} + \\ &\quad 0,00042 \times 6600,00 \text{ K} \\ &= 129,33 \text{ mol/jam} \times 404,7720 \text{ cal/mol} \\ &= 52350,0057 \text{ cal/jam} \\ &= 52,3500 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H_{\text{total}} (7) \ \& \ (8) &= \sum \Delta H_{\text{bahan keluar}} \\ &= 502174,2375 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

### Panas Reaksi pada suhu 358,15k (85 C)

$$\begin{aligned} \Delta H_{R, 358,15 \text{ k}} &= \Delta H_{\text{ref}} + (\Delta H_{\text{Produk}} - \Delta H_{\text{Reaktan}}) \quad (\text{Hemmelblau halaman 456}) \\ \Delta H_{\text{Reaktan}} &= \text{Entalpi bahan masuk} \\ \Delta H_{\text{Produk}} &= \text{Entalpi bahan keluar} \\ \Delta H_{R, T_{\text{ref}}} &= \text{Panas Reaksi pada suhu reference} \\ \Delta H_{R, 298,15 \text{ K}} &= \Delta H_{\text{f Produk}}^{\circ} - \Delta H_{\text{f Reaktan}}^{\circ} \\ \Delta H_{\text{f}}^{\circ} &= \text{Panas pembentukan bahan} \end{aligned}$$

komponen	$\Delta H_{\text{f}}^{\circ}$ (kcal/mol)	sumber
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	-457,00	irving
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-275,13	Perry, 9th editio
NaCl	-97,32	Perry, 9th editio
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	-309,32	Perry, 9th editio
H <sub>2</sub> O	-68,27	Van Ness, Appo
CO <sub>2</sub>	-93,99	Van Ness, Appo
HCl	-22,05	Van Ness, Appo

### Tinjauan panas reaksi

reaksi utama

	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (aq)	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (aq)	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	CO <sub>2</sub> (g)	H <sub>2</sub> O (l)
m	37,2714				
r	35,4078	35,4078	35,4078	35,4078	35,4078
c	1 8636	35 4078	35 4078	35 4078	35 4078



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

reaksi samping

$$2 \text{ NaCl}_{(aq)} + \text{H}_3\text{PO}_4_{(aq)} \rightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4_{(aq)} + 2 \text{ HCl}_{(g)}$$

m	0,1293			
r	0,1293	0,0647	0,0647	0,1293
s	0,0000	0,0647	0,0647	0,1293

Komponen	Jumlah Mol (Kmol)	
	kmol/jam	mol/jam
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	35,4078	35407,8104
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	35,4725	35472,4765
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	35,4725	35472,4765
NaCl	0,1293	129,3321
HCl	0,1293	129,3321
CO <sub>2</sub>	35,4078	35407,8104
H <sub>2</sub> O	35,4078	35407,8104

$$\begin{aligned} \Delta H_{298,15} &= \Delta H_{f, \text{Produk}} - \Delta H_{f, \text{Reaktan}} \quad (\text{reaksi utama}) \\ &= -21956098,6106 - (-20714097,2969) \\ &= -1242001,3136 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{298,15} &= \Delta H_{f, \text{Produk}} - \Delta H_{f, \text{Reaktan}} \quad (\text{reaksi samping}) \\ &= -2851,4036 - (-12587,1156) \\ &= 9735,7120 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{298,15} &= \Delta H_{f, \text{Produk}} - \Delta H_{f, \text{Reaktan}} \quad (\text{total}) \\ &= -1232265,6016 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{358,15} &= \Delta H_{298,15} + (\Delta H_{\text{Produk}} - \Delta H_{\text{Reaktan}}) \\ &= -1113326,8107 \text{ kcal} \quad (\text{eksoterm}) \end{aligned}$$

### Neraca Energi Total

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ bahan masuk} + \Delta H \text{ reaksi} &= \Delta H \text{ bahan keluar} + Q_{\text{loss}} \\ 383235,4466 + 1113326,8107 &= 502174,2375 + Q_{\text{loss}} \\ Q_{\text{loss}} &= 994388,0198 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

Sehingga, Jumlah panas yang diserap oleh air pendingin adalah :

$$Q_{\text{loss}} = 994388,0198 \text{ kcal/jam}$$

### Kebutuhan air pendingin

$$\text{Suhu air pendingin masuk} = 30 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Ulrich : 427})$$

$$\text{Suhu air pendingin keluar} = 45 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Ulrich : 427})$$

$$\text{Cp air pendingin} = 0,9987 \text{ kcal/kg}\cdot^\circ\text{C} \quad (\text{Perry 6}^{\text{ed}}; \text{ fig 3-11})$$

$$Q_{\text{loss}} = m \cdot \text{Cp} \cdot \Delta T$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 M \text{ air pendingin} &= \frac{Q_{\text{loss}}}{C_p \cdot \Delta T} \\
 &= \frac{994388,0198}{0,9987 \times 15} \\
 &= 66381,4858 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### Neraca Energi Reaktor

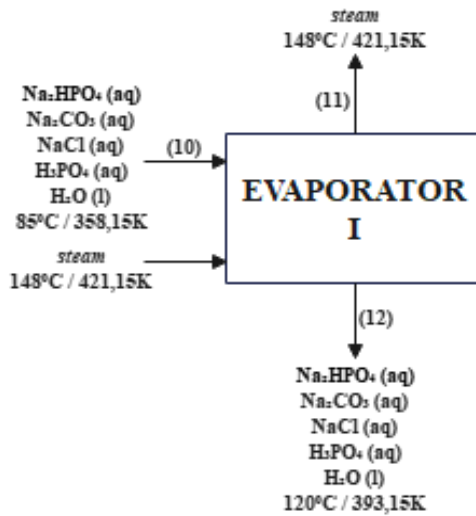
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari E-132 (5)		ke V-310 (10)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	37406,6905	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	99397,5957
NaCl	74,8046	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3231,4681
H <sub>2</sub> O	99140,4238	NaCl	0,0000
dari E-112 (7)		H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	86393,6282	H <sub>2</sub> O	371726,1108
H <sub>2</sub> O	102947,1263	ke G-212 (8)	
dari E-343 (18)		CO <sub>2</sub>	27766,7129
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1623,3681	HCl	52,3500
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2686,4632		
NaCl	0,0000		
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000		
H <sub>2</sub> O	52962,9421		
ΔH reaksi	1113326,8107	Q <sub>loss</sub>	994388,0198
<b>Total</b>	<b>1496562,2573</b>	<b>Total</b>	<b>1496562,2573</b>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 5. EVAPORATOR



Entalpi bahan masuk

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	$\Delta H$ (kcal/jam)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	19,1296	99397,5957
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	1,8636	3231,4681
NaCl	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O	6195,8077	344,2115	371726,1108
total	11521,8104	365,2047	474355,1746

suhu bahan masuk = 85 °C = 358,15 K

Penentuan entalpi bahan keluar

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
ke V-320 (12)		
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	19,1296
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	1,8636
NaCl	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O (l)	3221,4380	178,9688
ke V-320 (11)		
H <sub>2</sub> O (g)	2974,3696	165,2428
total	11521,8104	365,2047

suhu bahan keluar = 120 °C = 393,15 K





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{HPO}_4 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 19,1296 \text{ kmol/jam} \times 86,60 \text{ cal/mol.K} \times 35 \text{ K} \\ &= 19129,6373 \text{ mol/jam} \times 3031 \text{ cal/mol} \\ &= 57981930,8016 \text{ cal/jam} \\ &= 57981,9308 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 1,8636 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 35,0 \text{ K} \\ &= 1863,5690 \text{ mol/jam} \times 4235 \text{ J/mol} \\ &= 7892214,5846 \text{ J/jam} \\ &= 1885023,0688 \text{ cal/jam} \\ &= 1885,0231 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 35,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 556,50 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 35 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 6489 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_2\text{O}^{(1)} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right) \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \right] \\ &= 178,9688 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 35,0 \text{ K} + -1045,1 \\ &\quad \times 26295,5 \text{ K} + 2,70833 \times 1,5\text{E}+07 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 7,4\text{E}+09 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 3,5\text{E}+12 \text{ K} \\ &= 178,97 \text{ kmol/jam} \times 2663198,99 \text{ J/kmol} \\ &= 476629469,8212 \text{ J/jam} \\ &= 113840993,0785 \text{ cal/jam} \\ &= 113840,9931 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{H}_2\text{O}} &= 970 \text{ Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig.12 pg. 815}) \\ &= 2260,10 \text{ kJ/kg} \\ &= 9.716,68 \text{ kcal/kmol} \\ \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} (\text{g}) &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] + n\lambda \\ &= 165,2428 \text{ kmol/jam} \times 8,22 \times 35,0 \text{ K} + 7,5\text{E-}05 \\ &\quad \times 26295,5 \text{ K} + 4,5\text{E-}07 \times 1,5\text{E+}07 \text{ K} + \\ &\quad 165,24 \text{ kmol/jam} \times 0 \text{ kcal/kmol} \\ &= 165,2428 \text{ kmol/jam} \times 296,2951 \text{ kcal/kmo} + \\ &\quad 9716,6810 \text{ kcal/kmol} \\ &= 9728,3750 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H_{\text{total}} (11) \ \& \ (12) &= \sum \Delta H_{\text{bahan keluar}} \\ &= 183436,3220 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

### Neraca Energi Total

$$\begin{aligned}Q_{\text{loss}} &= 5 \% Q_{\text{supply}} \\ \Delta H_{\text{bahan masuk}} + Q_{\text{supply}} &= \Delta H_{\text{bahan keluar}} + Q_{\text{loss}} \\ 474355,1746 + Q_{\text{supply}} &= 183436,3220 + 5 \% Q_{\text{supply}} \\ Q_{\text{loss}} &= 306230,3712 \text{ kcal/jam} \\ Q_{\text{supply}} &= 15311,5186 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

### Kebutuhan Steam

Digunakan steam dengan low-pressure pada suhu 148 °C dan tekanan 4,5 atm (*Ulrich, app B hal 426*)

Panas laten saturated steam pada suhu 148 °C diperoleh :

$$\begin{aligned}\lambda &= 1010 \text{ Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig. 12, hal. 815}) \\ &= 2353,30 \text{ kJ/kg} \\ &= 562,08 \text{ kcal/kg}\end{aligned}$$

Jadi jumlah steam yang dibutuhkan sebesar :

$$\begin{aligned}M_{\text{steam}} &= \frac{Q_{\text{supply}}}{\lambda_{\text{steam}}} \\ &= \frac{306230,3712}{562,08} \\ &= 544,8202 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### STEAM ECONOMY

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Air yang Menguap} &= 2974,36965 \quad \text{kg/jam} \\
 \text{Massa Steam yang Digunakan} &= 544,82018 \quad \text{kg/jam} \\
 \text{Steam Economy} &= \frac{\text{Vapor}}{\lambda \text{ steam}} = \frac{2974,37}{544,82} \\
 &= 5,46 \\
 &\quad \text{(Multi Effect Evaporator)}
 \end{aligned}$$

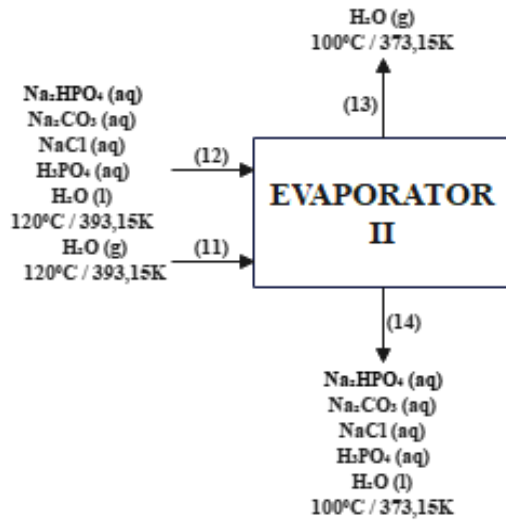
### Neraca Energi Evaporator I

Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari R-210 (10)		ke V-320 (12)	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	99397,5957	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	57981,9308
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3231,4681	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1885,0231
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
H <sub>2</sub> O	371726,1108	H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>	113840,9931
		ke V-320 (11)	
		H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>	9728,3750
Qsupply	15311,5186	Qloss	306230,3712
<b>Total</b>	<b>489666,6932</b>	<b>Total</b>	<b>489666,6932</b>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”



Entalpi bahan masuk

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	$\Delta H$ (kcal/jam)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	19,1296	57981,9308
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	1,8636	1885,0231
NaCl	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O	3221,4380	178,9688	113840,9931
total	8547,4408	199,9620	173707,9469

suhu bahan masuk = 120 °C = 393,15 K

Penentuan entalpi bahan keluar

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
ke S-330 (14)		
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	19,1296
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	1,8636
NaCl	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O (l)	1084,5778	60,2543
ke E-312 (13)		
H <sub>2</sub> O (g)	2136,8602	118,7145
total	8547,4408	199,9620

suhu bahan keluar = 100 °C = 373,15 K



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{HPO}_4 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 19,1296 \text{ kmol/jam} \times 86,60 \text{ cal/mol.K} \times 20 \text{ K} \\ &= 19129,6373 \text{ mol/jam} \times 1732 \text{ cal/mol} \\ &= 33132531,8866 \text{ cal/jam} \\ &= 33132,5319 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 1,8636 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 20,0 \text{ K} \\ &= 1863,5690 \text{ mol/jam} \times 2420 \text{ J/mol} \\ &= 4509836,9055 \text{ J/jam} \\ &= 1077156,0393 \text{ cal/jam} \\ &= 1077,1560 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 20,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 318,00 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 3708 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_2\text{O}^{(1)} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right) \right] \\ &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\ &= 60,2543 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 20,0 \text{ K} + -1045,1 \\ &\quad \times 15326,0 \text{ K} + 2,70833 \times 8810235 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 4,5\text{E}+09 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 2,2\text{E}+12 \text{ K} \\ &= 60,2543 \text{ kmol/jam} \times 1525563,6320 \text{ J/kmol} \\ &= 91921803,3662 \text{ J/jam} \\ &= 21955145,5446 \text{ cal/jam} \\ &= 21955,1455 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{H}_2\text{O}} &= 998 \quad \text{Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig.12 pg. 815}) \\ &= 2325,34 \quad \text{kJ/kg} \\ &= 9997,16 \quad \text{kcal/kmol} \\ \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} \text{ (g)} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] + n\lambda \\ &= 118,7145 \text{ kmol/jar} \times 8,22 \times 20,0 \text{ K} + 7,5\text{E-}05 \\ &\quad \times 15326,0 \text{ K} + 4,5\text{E-}07 \times 8810235 \text{ K} + \\ &\quad 118,71 \text{ kmol/jar} \times 9997,16 \text{ kcal/kmol} \\ &= 118714,4555 \text{ mol/jam} \times 169,4847 \text{ kcal/kmol} + \\ &\quad 9997,1625 \text{ kcal/kmol} \\ &= 14802,8094 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H \text{ total (13) \& (14)} &= \sum \Delta H \text{ bahan keluar} \\ &= 70967,6429 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

### Neraca Energi Total

$$\begin{aligned}Q_{\text{loss}} &= 5 \% Q_{\text{supply}} \\ \Delta H \text{ bahan masuk} + Q_{\text{supply}} &= \Delta H \text{ bahan keluar} + Q_{\text{loss}} \\ 173707,9469 + Q_{\text{supply}} &= 70967,6429 + 5 \% Q_{\text{supply}} \\ Q_{\text{loss}} &= 108147,6885 \text{ kcal/jam} \\ Q_{\text{supply}} &= 5407,3844 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

### Kebutuhan Steam

Digunakan steam dengan low-pressure pada suhu 148 °C dan tekanan 4,5 atm (*Ulrich, app B hal 426*)

Panas laten saturated steam pada suhu 148 °C diperoleh :

$$\begin{aligned}\lambda &= 1010 \quad \text{Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig. 12, hal. 815}) \\ &= 2353,30 \quad \text{kJ/kg} \\ &= 562,08 \quad \text{kcal/kg}\end{aligned}$$

Jadi jumlah steam yang dibutuhkan sebesar :

$$\begin{aligned}M_{\text{steam}} &= \frac{Q_{\text{supply}}}{\lambda_{\text{steam}}} \\ &= \frac{108147,6885}{562,08} \qquad \frac{3519,18982}{562,08} \\ &= 192,4076 \text{ kg/jam} \qquad 6,261056365\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### STEAM ECONOMY

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Air yang Menguap} &= 2136,8602 \\
 \text{Massa Steam yang Digunakan} &= 192,4076 \\
 \text{Steam Economy} &= \frac{\text{Vapor}}{\lambda \text{ steam}} = \frac{2136,8602}{192,4076} \\
 &= 0,1 \\
 &\text{(Double Effect Evaporator)}
 \end{aligned}$$

### Neraca Energi Evaporator II

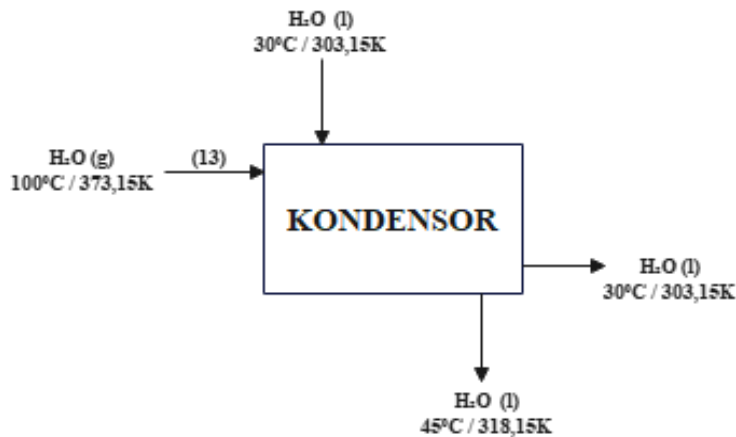
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari V-310 (12)		ke S-330 (14)	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	57981,9308	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	33132,5319
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1885,0231	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1077,1560
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
H <sub>2</sub> O	113840,9931	H <sub>2</sub> O	21955,1455
		ke E-312 (13)	
		H <sub>2</sub> O	14802,8094
Q <sub>supply</sub>	5407,3844	Q <sub>loss</sub>	108147,6885
<b>Total</b>	<b>179115,3314</b>	<b>Total</b>	<b>179115,3314</b>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 6. KONDENSOR



$$\text{Entalpi bahan masuk} = 14802,8094 \text{ kcal/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Hv H}_2\text{O pada } 60^\circ\text{C} &= 2609,70 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Smith Van Ness, steam} \\ &= 623,32 \text{ kcal/kg} \quad \text{table}) \end{aligned}$$

$$\text{suhu bahan masuk} = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 373,15 \text{ K}$$

$$\text{suhu bahan keluar} = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K}$$

Asumsi :

$$\text{Uap air yang lolos (non-condensat)} = 1\% \text{ Uap air yang masuk} \\ [\text{Ludwig : 376}]$$

$$= 1\% \times 2.136,86$$

$$= 21,3686 \text{ kg/jam}$$

$$= 1,1871 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Entalpi Air yang Lolos} = 623,3161 \times 21,3686$$

$$= 13.319,3944 \text{ kcal/jam}$$

$$\text{Kondensat} = \text{Massa uap air} - \text{Uap air non-kondensat}$$

$$= 2115,4916 \text{ kg/jam}$$

$$= 117,5273 \text{ kmol/jam}$$

$$\Delta H \text{ H}_2\text{O}_{(g)} = n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right]$$

$$= 1,1871 \text{ kmol/jam} \times 8,22 \times 75,0 \text{ K} + 7,5\text{E-}05 \\ 50347,5 \text{ K} + 4,5\text{E-}07 \times 2,5\text{E+}07 \text{ K}$$

$$= 1,1871 \text{ kmol/jam} \times 631,6456 \text{ kcal/kmol}$$

$$= 749,8546 \text{ kcal/jam}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{H}_2\text{O}} &= 998 \text{ Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig.12 pg. 815}) \\
 &= 2325,34 \text{ kJ/kg} \\
 &= 9997,16 \text{ kcal/kmol} \\
 \Delta H_{\text{H}_2\text{O}}^{(1)} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] + n\lambda \\
 &= 117,53 \text{ kmol/jam} \times 8,22 \times 70,0 \text{ K} + 7,5\text{E-}05 \times \\
 &\quad 47341,0 \text{ K} + 4,5\text{E-}07 \times 2,4\text{E+}07 \text{ K} + \\
 &\quad 117,53 \text{ kmol/jam} \times 9997,16 \text{ kcal/kmol} \\
 &= 117527,31 \text{ mol/jam} \times 589,71 \text{ kcal/kmo} + \\
 &\quad 9997,16 \text{ kcal/kmol} \\
 &= 26550,9880 \text{ kcal/jam} \\
 \Delta H_{\text{bahan keluar}} &= \sum \Delta H_{\text{bahan keluar}} \\
 &= 27300,8427 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

### Neraca Energi Total

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{masuk}} + Q_{\text{supply}} &= Q_{\text{keluar}} \\
 14802,8094 + Q_{\text{supply}} &= 27300,8427 \\
 Q_{\text{supply}} &= 12498,0332 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{\text{air pendingin masuk}} (t_1) &= 30 \text{ }^\circ\text{C} \\
 t_{\text{air pendingin keluar}} (t_2) &= 45 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \Delta T_{\text{air pendingin}} &= 45 - 30 \\
 &= 15 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Dari Perry 5th ed. T. 3-176 P. 3-126, diketahui :

$$C_p \text{ air pendingin pada } 30^\circ\text{C} = 0,9987 \text{ kcal/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air pendingin} &= \frac{Q}{C_p \times \Delta T} \\
 &= \frac{12498,0332}{0,9987 \times 15} \\
 &= 834,3202 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

### Neraca Energi Kondensor

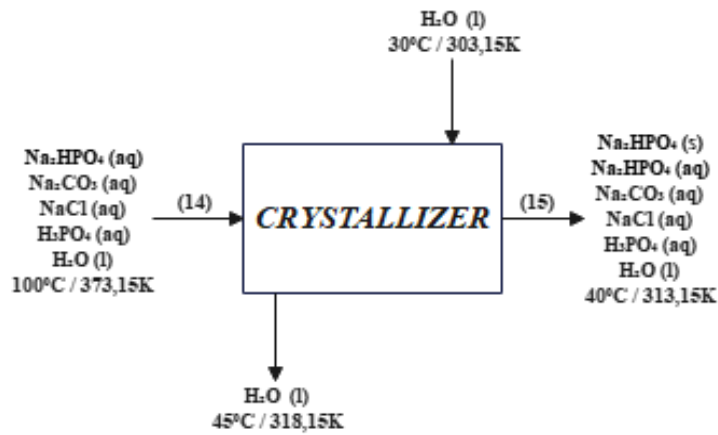
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari V-320 (13)		Uap ke udara	
H <sub>2</sub> O	14802,8094	H <sub>2</sub> O	749,8546
		H <sub>2</sub> O ke Steam Kondensat	
		H <sub>2</sub> O	26550,9880
Q supply	12498,0332		
<b>Total</b>	<b>27300,8427</b>	<b>Total</b>	<b>27300,8427</b>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 7. CRYSTALLIZER



Entalpi bahan masuk

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	$\Delta H$ (kcal/jam)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	19,1296	33132,5319
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	1,8636	1077,1560
NaCl	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O	1084,5778	60,2543	21955,1455
total	6410,5806	81,2475	56164,8335

suhu bahan masuk = 100 °C = 373,15 K

Penentuan entalpi bahan keluar

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	5025,8952	35,3936
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	102,5693	0,3826
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	1,8636
NaCl	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O	1084,5778	60,2543
total	6410,5806	97,8941

suhu bahan keluar = 40 °C = 313,15 K



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta H \text{Na}_2\text{HPO}_4 (\text{aq}) &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,3826 \text{ kmol/jam} \times 86,60 \text{ cal/mol.K} \times 60 \text{ K} \\ &= 382,5927 \text{ mol/jam} \times 5196 \text{ cal/mol} \\ &= 1987951,9132 \text{ cal/jam} \\ &= 1987,9519 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{Na}_2\text{HPO}_4 (\text{s}) &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 35,3936 \text{ kmol/jam} \times 216,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 60 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 35393,6281 \text{ mol/jam} \times 12984 \text{ J/mol} \\ &= 459550866,9647 \text{ J/jam} \\ &= 109761838,8661 \text{ cal/jam} \\ &= 109761,8389 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 1,8636 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 60,0 \text{ K} \\ &= 1863,5690 \text{ mol/jam} \times 7260 \text{ J/mol} \\ &= 13529510,7165 \text{ J/jam} \\ &= 3231468,1180 \text{ cal/jam} \\ &= 3231,4681 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 60,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 954,00 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 60 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 11124 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{H}_2\text{O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right) \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \right] \\ &= 60,2543 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 60,0 \text{ K} + -1045,1 \times \\ &\quad 41178,0 \text{ K} + 2,70833 \times 2,1\text{E}+07 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 9,8\text{E}+09 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 4,2\text{E}+12 \text{ K} \\ &= 60,2543 \text{ kmol/jam} \times 4529650,4843 \text{ J/kmol} \\ &= 272931021,9507 \text{ J/jam} \\ &= 65188454,6553 \text{ cal/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 &= 65188,4547 \text{ kcal/jam} \\
 \Delta H \text{ bahan keluar} &= \sum \Delta H \text{ bahan keluar} \\
 &= 180169,7136 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

### Panas kristalisasi

$$\begin{aligned}
 \Delta H_s \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} &= -12,04 \text{ kcal/mol} \\
 n \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)} &= 35,39 \text{ kmol} \\
 &= 35393,63 \text{ mol} \\
 Q \text{ kristalisasi} &= \Delta H_s \times n \text{ kristal} \\
 &= -426139,2821 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$

### Neraca Energi Total

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ bahan masuk} + Q \text{ supply} &= \Delta H \text{ bahan keluar} + Q \text{ kristalisasi} \\
 56164,8335 + Q \text{ supply} &= 180169,7136 + 426139,2821 \\
 Q \text{ supply} &= 550144,1621 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$

### Kebutuhan air pendingin

$$\begin{aligned}
 \text{Suhu air pendingin masuk} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Ulrich : 427}) \\
 \text{Suhu air pendingin keluar} &= 45 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Ulrich : 427}) \\
 C_p \text{ air pendingin} &= 0,9987 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C} \quad (\text{Perry 6}^{\text{ed}}; \text{fig 3-11}) \\
 Q &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\
 M \text{ air pendingin} &= \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} \\
 &= \frac{550144,1621}{0,9987 \times 15} \\
 &= 36725,4896 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

### Neraca Energi *Crystallizer*

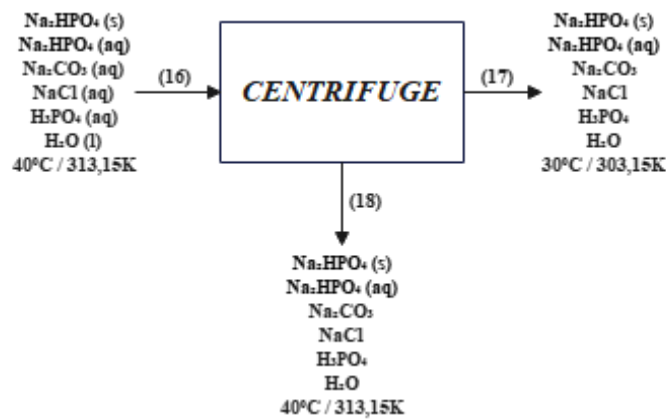
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari V-320 (14)		ke H-340 (15)	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	33132,5319	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	109761,8389
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1077,1560	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	1987,9519
NaCl	0,0000	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3231,4681
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>2</sub> O	21955,1455	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
		H <sub>2</sub> O	65188,4547
Qsupply	550144,1621	Qkristalisasi	426139,2821
<b>Total</b>	<b>606308,9956</b>	<b>Total</b>	<b>606308,9956</b>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 8. CENTRIFUGE



Entalpi bahan masuk

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	$\Delta H$ (kcal/jam)
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 (s)$	5025,8952	35,3936	109761,8389
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 (aq)$	102,5693	0,3826	1987,9519
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	197,5383	1,8636	3231,4681
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{H}_2\text{O}$	1084,5778	60,2543	65188,4547
total	6410,5806	97,8941	180169,7136

suhu bahan masuk =  $40^\circ\text{C} = 313,15\text{ K}$

Penentuan entalpi bahan keluar

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
ke J-341 (16)		
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 (s)$	5025,8952	35,3936
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 (aq)$	5,1285	0,0191
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	9,8769	0,0932
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000
$\text{H}_2\text{O}$	54,2289	3,0127
ke E-343 (17)		
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 (aq)$	97,4408	0,3635
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	187,6614	1,7704
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000
$\text{H}_2\text{O}$	1030,3489	57,2416
total	6410,5806	97,8941

suhu liquid keluar =  $40^\circ\text{C} = 313,15\text{ K}$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\text{suhu solid keluar} = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K}$$

### Entalpi solid keluar

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,02 \text{ kmol/jam} \times 86,60 \text{ cal/mol.K} \times 10 \text{ K} \\ &= 19,13 \text{ mol/jam} \times 866 \text{ cal/mol} \\ &= 16566,2659 \text{ cal/jam} \\ &= 16,5663 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)} &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 35,39 \text{ kmol/jam} \times 216,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 10 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 35393,63 \text{ mol/jam} \times 2164 \text{ J/mol} \\ &= 76591811,16 \text{ J/jam} \\ &= 18293639,81 \text{ cal/jam} \\ &= 18293,6398 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,09 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 10,0 \text{ K} \\ &= 93,18 \text{ mol/jam} \times 1210 \text{ J/mol} \\ &= 112745,92 \text{ J/jam} \\ &= 26928,90 \text{ cal/jam} \\ &= 26,9289 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 10,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 159,00 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 10 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 1854 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta H_{H_2O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot T_2^3 - T_1^3 \right) \right] \\ &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\ &= 3,01 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 10,0 \text{ K} + -1045,1 \times \\ &\quad 6163,0 \text{ K} + 2,70833 \times 2848943 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 1,2E+09 \text{ K} + 1,9E-06 \times 4,5E+11 \text{ K} \\ &= 3,01 \text{ kmol/jam} \times 752719,00 \text{ J/kmol} \\ &= 2267728,663 \text{ J/jam} \\ &= 541637,69 \text{ cal/jam} \\ &= 541,6377 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{solid keluar}} &= \sum \Delta H_{\text{solid keluar}} \\ &= 18878,7727 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

### Entalpi liquid keluar

$$\begin{aligned}\Delta H_{Na_2HPO_4(aq)} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,36 \text{ kmol/jam} \times 86,60 \text{ cal/mol.K} \times 15 \text{ K} \\ &= 363,46 \text{ mol/jam} \times 1299 \text{ cal/mol} \\ &= 472138,5794 \text{ cal/jam} \\ &= 472,1386 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{Na_2CO_3} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 1,77 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 15,0 \text{ K} \\ &= 1770,39 \text{ mol/jam} \times 1815 \text{ J/mol} \\ &= 3213258,80 \text{ J/jam} \\ &= 767473,68 \text{ cal/jam} \\ &= 767,4737 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 15,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 238,50 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{H_3PO_4} &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 15 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 2781 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \Delta H_{H_2O} &= \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot T_2^3 - T_1^3 \right) \right] \\ &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\ &= 57,24 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 15,0 \text{ K} + -1045,1 \times \\ &\quad 9169,5 \text{ K} + 2,70833 \times 4204830 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 1,7E+09 \text{ K} + 1,9E-06 \times 6,6E+11 \text{ K} \\ &= 57,24 \text{ kmol/jam} \times 1129457,04 \text{ J/kmol} \\ &= 64651935,72 \text{ J/jam} \\ &= 15441849,56 \text{ cal/jam} \\ &= 15441,8496 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{liquid keluar}} &= \sum \Delta H_{\text{liquid keluar}} \\ &= 16681,4618 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

### Neraca Energi Total

$$Q_{\text{loss}} = 5 \% Q_{\text{supply}}$$

$$\Delta H_{\text{bahan masuk}} + Q_{\text{supply}} = \Delta H_{\text{bahan keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$180169,7136 + Q_{\text{supply}} = 35560,2345 + 5 \% Q_{\text{supply}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 152220,5043 \text{ kcal/jam}$$

$$Q_{\text{supply}} = 7611,0252 \text{ kcal/jam}$$

### Neraca Energi Centrifuge

Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari S-330 (15)		ke J-341 (16)	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	109761,8389	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	18293,6398
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	1987,9519	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	16,5663
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3231,4681	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	26,9289
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
H <sub>2</sub> O	65188,4547	H <sub>2</sub> O	541,6377
		ke E-343 (17)	
		Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	472,1386
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	767,4737
		NaCl	0,0000
		H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
		H <sub>2</sub> O	15441,8496
Q supply	7611,0252	Q loss	152220,5043
<b>Total</b>	<b>187780,7388</b>	<b>Total</b>	<b>187780,7388</b>

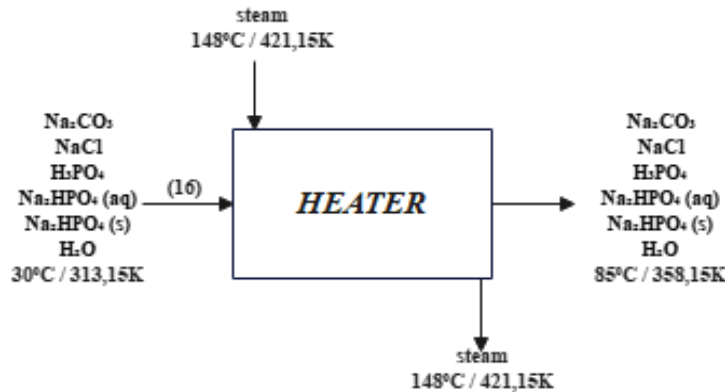




## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 9. HEATER RECYCLE



entalpi bahan masuk

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	$\Delta H$ (kcal/jam)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	179,1517	1,6901	244,2239
NaCl	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	91,3728	0,3408	147,5789
H <sub>2</sub> O	963,0086	53,5005	4814,0978
total	1233,5331	55,5314	5205,9006

suhu bahan masuk = 30,0 °C = 303,15 K

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,3408 \text{ kmol/jam} \times 86,60 \text{ cal/mol.K} \times 5 \text{ K} \\ &= 340,8289 \text{ mol/jam} \times 433 \text{ cal/mol} \\ &= 147578,9137 \text{ cal/jam} \\ &= 147,5789 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 1,6901 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 5,0 \text{ K} \\ &= 1690,1103 \text{ mol/jam} \times 605 \text{ J/mol} \\ &= 1022516,7208 \text{ J/jam} \\ &= 244223,9230 \text{ cal/jam} \\ &= 244,2239 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 5,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 79,50 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\
 &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{C} \times 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 0 \text{ J/mol} \\
 &= 0,00 \text{ J/jam} \\
 &= 0,00 \text{ cal/jam} \\
 &= 0,00 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ H}_2\text{O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot T_2^3 - T_1^3 \right) \right] \\
 &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\
 &= 53,5005 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 5,0 \text{ K} + -1045,1 \times \\
 &\quad 3006,5 \text{ K} + 2,70833 \times 1355888 \text{ K} + -0,0035 \times \\
 &\quad 5,4\text{E}+08 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 2\text{E}+11 \text{ K} \\
 &= 53,5005 \text{ kmol/jam} \times 376738,0481 \text{ J/kmol} \\
 &= 20155664,6879 \text{ J/jam} \\
 &= 4814097,8045 \text{ cal/jam} \\
 &= 4814,0978 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

entalpi bahan keluar

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	$\Delta H$ (kcal/jam)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	179,1517	1,6901	2686,4632
NaCl	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	91,3728	0,3408	1623,3681
H <sub>2</sub> O	963,0086	53,5005	52962,9421
total	1233,5331	55,5314	57272,7733

$$\text{suhu bahan keluar} = 85,0 \text{ } ^\circ\text{C} = 358,15 \text{ K}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (aq)} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\
 &= 0,3408 \text{ kmol/jam} \times 86,60 \text{ cal/mol} \cdot \text{K} \times 55 \text{ K} \\
 &= 340,8289 \text{ mol/jam} \times 4763 \text{ cal/mol} \\
 &= 1623368,0509 \text{ cal/jam} \\
 &= 1623,3681 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\
 &= 1,6901 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 55,0 \text{ K} \\
 &= 1690,1103 \text{ mol/jam} \times 6655 \text{ J/mol} \\
 &= 11247683,9290 \text{ J/jam} \\
 &= 2686463,1530 \text{ cal/jam} \\
 &= 2686,4632 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 55,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 874,50 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{C} \times 55,0 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 10197 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ H}_2\text{O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right) \right] \\ &\quad + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \\ &= 53,5005 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 55,0 \text{ K} + -1045,1 \times \\ &\quad 36371,5 \text{ K} + 2,70833 \times 1,8\text{E}+07 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 8\text{E}+09 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 3,3\text{E}+12 \text{ K} \\ &= 53,5005 \text{ kmol/jam} \times 4144734,1188 \text{ J/kmol} \\ &= 221745245,8903 \text{ J/jam} \\ &= 52962942,0775 \text{ cal/jam} \\ &= 52962,9421 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

Panas yang diberikan steam (Qs) :

$$\text{Asumsi } Q_{\text{loss}} = 5\% \text{ } Q_{\text{supply}} \quad (\text{maks } 10\% ; \text{Ulrich } 432, 1984)$$

### Neraca Energi Total

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ bahan masuk} + Q_{\text{supply}} &= \Delta H \text{ bahan keluar} + Q_{\text{loss}} \\ 5205,9006 + Q_{\text{supply}} &= 57272,7733 + 5\% \text{ } Q_{\text{supply}} \\ Q_{\text{supply}} &= 54807,2344 \text{ kcal/jam} \\ Q_{\text{loss}} &= 2740,3617 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

### Kebutuhan Steam

Digunakan steam dengan low-pressure pada suhu 148°C dan tekanan 4,5 atm (*Ulrich, app B hal 426*)

Panas laten saturated steam pada suhu 148 °C diperoleh :

$$\begin{aligned}\lambda &= 1010 \text{ Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig. 12, hal. 815}) \\ &= 103594,98 \text{ kJ/kg} \\ &= 24.743,24 \text{ kcal/kg}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Jadi jumlah steam yang dibutuhkan sebesar :

$$\begin{aligned} M \text{ steam} &= \frac{Q \text{ supply}}{\lambda \text{ steam}} \\ &= \frac{54807,2344}{24.743,24} = 2,2150 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

### Neraca Energi *Heater recycle*

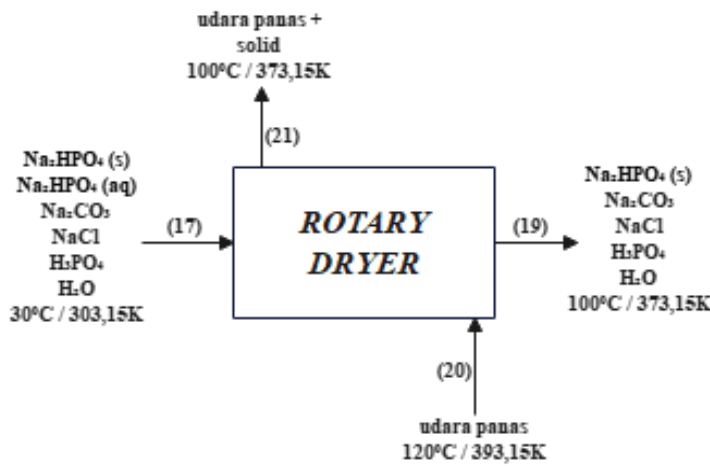
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari H-340 (17)		ke R-210 (18)	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	244,2239	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2686,4632
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	147,5789	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1623,3681
H <sub>2</sub> O	4814,0978	H <sub>2</sub> O	52962,9421
Q supply	54807,2344	Q loss	2740,3617
<b>Total</b>	<b>60013,1350</b>	<b>Total</b>	<b>60013,1350</b>



**Pra Rencana Pabrik**

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

**10. ROTARY DRYER**



Suhu udara masuk = 120 °C = 248 °F  
 Suhu bahan masuk = 30 °C = 86 °F

Humidity udara masuk (WG) 86°F = 0,0012 lb H<sub>2</sub>O/lb udara kering  
 Asumsi bahwa humidity tidak berubah saat udara dipanaskan sehingga :

Humidity udara masuk (WG) 248°F = 0,0012 lb H<sub>2</sub>O/lb udara kering  
**(Himmelblau 6th Edition Fig. 5.19b)**

Penentuan suhu wet bulb udara keluar pada 120°C

$$W_w - W_G = \frac{h_G}{29 \times \lambda \times k_G \times P} (t_G - t_w) \quad (\text{bedger, pg 384, 8-29})$$

Dengan :

- $W_w$  = humidity pada  $t_w$
- $W_G$  = humidity pada  $t_g$
- $h_G$  = heat transfer coefficient dari udara ke permukaan basah
- $t_G$  = suhu udara panas masuk ke dryer
- $t_w$  = suhu wet bulb
- $k_G$  = mass transfer coefficient dari permukaan basah ke udara
- $P$  = tekanan operasi
- $\lambda$  = panas laten udara basah, pada  $t_w$

dari Badger hal 384 diketahui :

$$\frac{h_G}{29 \times k_G \times P} = 0,26$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### pengujian titik

$$\text{Suhu wet bulb} = 106 \text{ } ^\circ\text{C} = 222 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{Panas laten pada } 222 \text{ } ^\circ\text{F} = 951 \text{ Btu/lb}$$

(Kern, Fig. 12, pg. 815)

$$\text{Humidity pada } 222,396 \text{ } ^\circ\text{F} = 0,008 \text{ lb air/lb udara kering}$$

(Himmeblau, Fig. 11.7a)

$$W_w - W_G = \frac{h_G}{29 \times \lambda \times k_G \times P} (t_G - t_w)$$

$$0,008 - 0,0012 = \frac{0,26}{951,00} (248 - 222,40)$$

$$0,0070 = 0,0070$$

(sesuai)

Perhitungan suhu udara panas masuk ke dryer ( $t_{G2}$ ):

$$\text{NTU} = \ln \left[ \frac{(t_{G1} - t_w)}{(t_{G2} - t_w)} \right] \quad (\text{Badger ; 508})$$

Keterangan  $t_{G1}$  = suhu udara masuk

$t_{G2}$  = suhu udara keluar

NTU = total Number of Transfer Unit (1,5 sampai dengan 2; Badger : 508);

ditetapkan = 1,5

Maka :

$$\text{NTU} = \ln \left[ \frac{(t_{G1} - t_w)}{(t_{G2} - t_w)} \right]$$

$$1,5 = \ln \left[ \frac{248 - 222}{t_{G2} - 222,40} \right]$$

$$4,48 = \left[ \frac{25,60}{t_{G2} - 222,40} \right]$$

$$t_{G2} = 228,11$$

$$t_{G2} = 228,11 \text{ } ^\circ\text{F} = 108,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

entalpi bahan masuk

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	$\Delta H$ (kcal/jam)
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ (s)	5025,8952	35,3936	18293,6398
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ (aq)	5,1285	0,0191	16,5663
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	9,8769	0,0932	26,9289
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000	0,0000
$\text{H}_2\text{O}$	54,2289	3,0127	541,6377
total	5095,1295	38,5187	18878,7727

suhu bahan masuk = 30 °C = 303,15 K

entalpi bahan keluar

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
ke J-351 (19)		
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ (s)	4980,7134	35,0754
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	9,7781	0,0922
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000
$\text{H}_2\text{O}$	10,1086	0,5616
ke H-355 (22)		
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ (s)	50,3102	0,3543
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,0988	0,0009
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000
$\text{H}_2\text{O}$	44,1203	2,4511
total	5095,1295	38,5356

suhu bahan keluar = 100 °C = 373,15 K

Entalpi aliran (19)

$$\begin{aligned}\Delta H \text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)} &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 35,0754 \text{ kmol/jam} \times 216,40 \text{ J/mol.}^\circ\text{C} \times 70 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 35075,45 \text{ mol/jam} \times 15148 \text{ J/mol} \\ &= 531322864,9 \text{ J/jam} \\ &= 126904286,06 \text{ cal/jam} \\ &= 126904,2861 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,0922 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 70,0 \text{ K} \\ &= 92,25 \text{ mol/jam} \times 8470 \text{ J/mol} \\ &= 781329,24 \text{ J/jam} \\ &= 186617,28 \text{ cal/jam} \\ &= 186,6173 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 70,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 1113,00 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H \text{ H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{C} \times 70 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 12978 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H \text{ H}_2\text{O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right) \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \right] \\ &= 0,5616 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 70,0 \text{ K} + -1045,1 \times \\ &\quad 47341,0 \text{ K} + 2,70833 \times 2,4\text{E}+07 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 1,1\text{E}+10 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 4,7\text{E}+12 \text{ K} \\ &= 0,5616 \text{ kmol/jam} \times 5282369,48 \text{ J/kmol} \\ &= 2966512,222 \text{ J/jam} \\ &= 708539,27 \text{ cal/jam} \\ &= 708,5393 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

Entalpi aliran (22)

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)} &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,3543 \text{ kmol/jam} \times 216,40 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{C} \times 70 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 354,30 \text{ mol/jam} \times 15148 \text{ J/mol} \\ &= 5366897,625 \text{ J/jam} \\ &= 1281861,48 \text{ cal/jam} \\ &= 1281,8615 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 70,0 \text{ K} \\ &= 0,93 \text{ mol/jam} \times 8470 \text{ J/mol} \\ &= 7892,21 \text{ J/jam} \\ &= 1885,02 \text{ cal/jam} \\ &= 1,88502 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H \text{ NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 70,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 1113,00 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H \text{ H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{C} \times 70 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 12978 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam} \\ \lambda_{\text{H}_2\text{O}} &= 998 \text{ Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig.12 pg. 815}) \\ &= 2325,34 \text{ kJ/kg} \\ &= 9997,16 \text{ kcal/kmol} \\ \Delta H \text{ H}_2\text{O}^{(1)} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] + n\lambda \\ &= 2,4511 \text{ kmol/jam} \times 8,22 \times 70,0 \text{ K} + 7,5\text{E-}05 \times \\ &\quad 47341,0 \text{ K} + 4,5\text{E-}07 \times 2,4\text{E+}07 \text{ K} + \\ &\quad 2,45 \text{ kmol/jam} \times 9997,16 \text{ kcal/kmol} \\ &= 2451,13 \text{ mol/jam} \times 589,71 \text{ kcal/kmo} + \\ &\quad 9997,16 \text{ kcal/kmol} \\ &= 10342,4062 \text{ kcal/jam} \\ \Delta H \text{ bahan keluar} &= \sum \Delta H \text{ bahan keluar} \\ &= 139425,5953 \text{ kcal/jam} \\ \text{suhu udara masuk} &= 120 \text{ }^\circ\text{C} = 248 \text{ }^\circ\text{F} \\ C_p \text{ udara masuk} &= 0,25 \text{ Btu/lb} \cdot ^\circ\text{F} \quad (\text{Kern, Fig.3, pg. 805}) \\ &= 0,58 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{F} \\ &= 16,87 \text{ kJ/kmol} \cdot ^\circ\text{F} \\ &= 4,03 \text{ kcal/kmol} \cdot ^\circ\text{F} \\ H \text{ udara} &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= n \times 4.0291 \text{ kcal/kmol} \cdot ^\circ\text{F} \times 171 \text{ }^\circ\text{F}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 &= n \times 688,9828 \text{ kcal/kmol} \\
 \text{suhu udara keluar} &= 100 \text{ }^\circ\text{C} = 212 \text{ }^\circ\text{F} \\
 \text{Cp udara keluar} &= 0,24 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F} \quad (\text{Kern, Fig.3, pg. 805}) \\
 &= 0,56 \text{ kJ/kg}^\circ\text{F} \\
 &= 16,19 \text{ kJ/kmol.}^\circ\text{F} \\
 &= 3,87 \text{ kcal/kmol.}^\circ\text{F} \\
 \text{H udara} &= n \times \text{Cp} \times \Delta T \\
 &= n \times 3,87 \text{ kcal/kmol.}^\circ\text{F} \times 135 \text{ }^\circ\text{F} \\
 &= n \times 522,18 \text{ kcal/kmol}
 \end{aligned}$$

### Neraca Energi Total

$\Delta H$  bahan masuk +  $\Delta H$  udara masuk =  $\Delta H$  bahan keluar +  $\Delta H$  udara keluar

$$\begin{aligned}
 18878,77 + n \times 688,98 &= 139425,60 + n \times 522,18 \\
 n \times 166,81 &= 120546,82 \\
 n &= 722,6752 \text{ kmol/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{berat udara} &= 20928,67396 \text{ kg/jam} \\
 \text{H udara masuk} &= 497910,789 \text{ kcal/jam} \\
 \text{H udara keluar} &= 377363,9664 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

### Neraca Energi Rotary Dryer

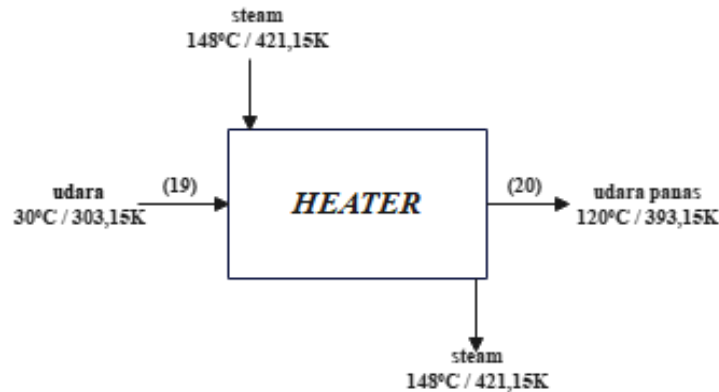
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari J-341 (16)		ke J-351 (19)	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	18293,6398	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	126904,2861
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (aq)	16,5663	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	186,6173
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	26,9289	NaCl	0,0000
NaCl	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>2</sub> O	708,5393
H <sub>2</sub> O	541,6377	ke H-355 (22)	
		Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1281,8615
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,8850
		NaCl	0,0000
		H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
		H <sub>2</sub> O	10342,4062
Udara	497910,7890	Udara	377363,9664
<b>Total</b>	<b>516789,5617</b>	<b>Total</b>	<b>516789,5617</b>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 11. HEATER ROTARY DRYER



Entalpi udara masuk

$$\begin{aligned} \text{suhu udara keluar} &= 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K} = 86 \text{ } ^\circ\text{F} \\ \text{Cp udara masuk} &= 0,238 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F} \quad (\text{Kern, Fig.3, pg. 805}) \\ &= 0,55454 \text{ kJ/kg}^\circ\text{F} \\ &= 0,03 \text{ kJ/kmol.}^\circ\text{F} \\ &= 0,01 \text{ kcal/kmol.}^\circ\text{F} \\ \text{n udara} &= 722,68 \text{ kmol/jam} \\ \text{H udara} &= n \times \text{Cp} \times \Delta T \\ &= 722,68 \text{ kmol/jam} \times 0,01 \text{ kcal/kmol.}^\circ\text{F} \times 9 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 47,8590 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Entalpi udara keluar} = 377363,9664 \text{ kcal/jam}$$

#### Neraca Energi Total

$$\begin{aligned} \text{Q loss} &= 5 \% \text{ Qsupply} \\ \Delta\text{H bahan masuk} + \text{Qsupply} &= \Delta\text{H bahan keluar} + \text{Qloss} \\ 47,8590 + \text{Qsupply} &= 377363,9664 + 5 \% \text{ Qsupply} \\ \text{Qsupply} &= 397174,8499 \text{ kcal/jam} \\ \text{Qloss} &= 19858,7425 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

#### Kebutuhan Steam

Digunakan steam dengan low-pressure pada suhu 148 °C dan tekanan 4,5 atm (*Ulrich, app B hal 426*)

Panas laten saturated steam pada suhu 148 °C diperoleh :

$$\begin{aligned} \lambda &= 1010 \text{ Btu/lb} \quad (\text{Kern, fig. 12, hal. 815}) \\ &= 2353,30 \text{ kJ/kg} \\ &= 562,08 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Jadi jumlah steam yang dibutuhkan sebesar :

$$\begin{aligned} M \text{ steam} &= \frac{Q \text{ steam}}{\lambda \text{ steam}} \\ &= \frac{377363,9664}{562,0760} \\ &= 671,3753 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

### Neraca Energi Heater Rotary Dryer

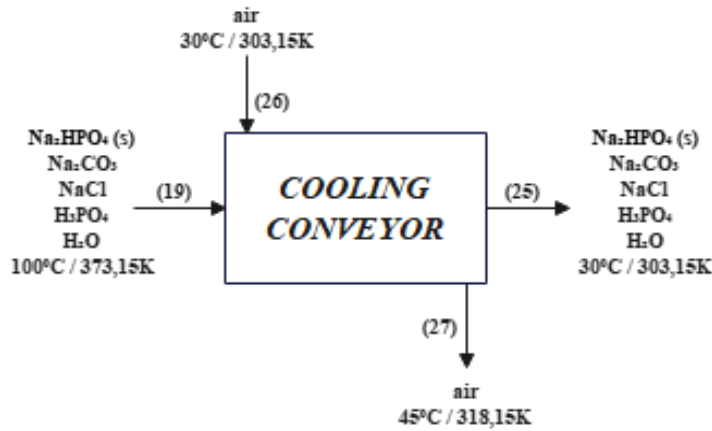
Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari G-353 (20)		ke B-350 (21)	
Udara	47,8590	Udara	377363,9664
Q supply	397174,8499	Q loss	19858,7425
<b>Total</b>	<b>397222,7089</b>	<b>Total</b>	<b>397222,7089</b>



**Pra Rencana Pabrik**

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

**12. COOLING CONVEYOR**



Entalpi bahan masuk

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)	$\Delta H$ (kcal/jam)
dari B-350 (19)			
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	4980,7134	35,0754	126904,2861
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,7781	0,0922	186,6173
NaCl	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O	10,1086	0,5616	708,5393
dari H-355 (24)			
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	49,8071	0,3508	1281,8615
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,0978	0,0009	1,8850
NaCl	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O	0,0000	0,0000	0,0000
total	5050,5051	36,0810	129083,1891

suhu bahan masuk = 100 °C = 373,15 K

Entalpi bahan keluar

komponen	berat (kg/jam)	laju mol (kmol/jam)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	5030,5205	35,4262
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,8759	0,0932
NaCl	0,0000	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000
H <sub>2</sub> O	10,1086	0,5616
total	5050,5051	36,0810

suhu bahan keluar = 30 °C = 303,15 K



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta H \text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ (s)} &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 35,43 \text{ kmol/jam} \times 216,40 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{C} \times 70 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 35426,20 \text{ mol/jam} \times 15148 \text{ J/mol} \\ &= 536636093,5 \text{ J/jam} \\ &= 128173328,92 \text{ cal/jam} \\ &= 128173,3289 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{Na}_2\text{CO}_3 &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,09 \text{ kmol/jam} \times 121,00 \times 70,0 \text{ K} \\ &= 93,17 \text{ mol/jam} \times 8470 \text{ J/mol} \\ &= 789142,54 \text{ J/jam} \\ &= 188483,46 \text{ cal/jam} \\ &= 188,4835 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{NaCl} &= n \left[ (A \cdot \Delta T) + \left( \frac{B}{2} \cdot \Delta T^2 \right) + \left( \frac{C}{3} \cdot \Delta T^3 \right) + \left( \frac{D}{4} \cdot \Delta T^4 \right) \right] \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 15,90 \times 70,0 \text{ K} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 1113,00 \text{ cal/mol} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{H}_3\text{PO}_4 &= n \times C_p \times \Delta T \\ &= 0,00 \text{ kmol/jam} \times 185,40 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{C} \times 70 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 0,00 \text{ mol/jam} \times 12978 \text{ J/mol} \\ &= 0,00 \text{ J/jam} \\ &= 0,00 \text{ cal/jam} \\ &= 0,00 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{H}_2\text{O} &= n \left[ (C_1 \cdot (T_2 - T_1)) + \left( \frac{C_2}{2} \cdot (T_2^2 - T_1^2) \right) + \left( \frac{C_3}{3} \cdot (T_2^3 - T_1^3) \right) \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{C_4}{4} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \right) + \left( \frac{C_5}{5} \cdot (T_2^5 - T_1^5) \right) \right] \\ &= 0,56 \text{ kmol/jam} \times 276370 \times 70,0 \text{ K} + -1045,1 \times \\ &\quad 47341,0 \text{ K} + 2,70833 \times 2,4\text{E}+07 \text{ K} + -0,0035 \times \\ &\quad 1,1\text{E}+10 \text{ K} + 1,9\text{E}-06 \times 4,7\text{E}+12 \text{ K} \\ &= 0,56 \text{ kmol/jam} \times 5282369,48 \text{ J/kmol} \\ &= 2966512,222 \text{ J/jam} \\ &= 708539,27 \text{ cal/jam} \\ &= 708,5393 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ bahan keluar} &= \sum \Delta H \text{ bahan keluar} \\ &= 129070,3516 \text{ kcal/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Neraca Energi Total

$$\Delta H \text{ bahan masuk} = \Delta H \text{ bahan keluar} + Q_{\text{loss}}$$

$$129083,1891 = 129070,3516 + Q_{\text{loss}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 12,8375 \text{ kcal/jam}$$

### Kebutuhan air pendingin

$$\text{Suhu air pendingin masuk} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{Ulrich : 427})$$

$$\text{Suhu air pendingin keluar} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{Ulrich : 427})$$

$$C_p \text{ air pendingin} = 0,9987 \text{ kcal/kg}\cdot^{\circ}\text{C} \quad (\text{Perry 6}^{\text{ed}}; \text{ fig 3-11})$$

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\begin{aligned} M \text{ air pendingin} &= \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} \\ &= \frac{12,8375}{0,9987 \times 15} \\ &= 0,8570 \text{ Kg} \end{aligned}$$

### Neraca Energi Cooling Conveyor

Energi Masuk		Energi Keluar	
Komponen	kcal/jam	Komponen	kcal/jam
dari B-350 (19)		ke C-360 (25)	
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	126904,2861	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	128173,3289
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	186,6173	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	188,4835
NaCl	0,0000	NaCl	0,0000
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000
H <sub>2</sub> O	708,5393	H <sub>2</sub> O	708,5393
dari H-355 (24)			
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1281,8615		
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,8850		
NaCl	0,0000		
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000		
H <sub>2</sub> O	0,0000		
		Q loss	12,8375
<b>Total</b>	<b>129083,1891</b>	<b>Total</b>	<b>129083,1891</b>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### KEBUTUHAN UTILITAS

No	Nama Alat	Kode	Steam (Kg/jam)	Cooling water (Kg/jam)
1	<i>Heater Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>	E-132	89,9212	
2	<i>Heater H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></i>	E-112	322,3564	
3	Reaktor	R-210		66381,4858
4	Evaporator I	V-310	544,8202	
5	Kondensor	E-312		834,3202
6	<i>Crystallizer</i>	S-330		36725,4896
7	<i>Heater recycle</i>	E-343	2,2150	
8	<i>Heater Rotary Dryer</i>	E-354	671,3753	
9	<i>Cooling Conveyor</i>	J-351		0,8570
<b>TOTAL</b>			1630,6880	103942,1527





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

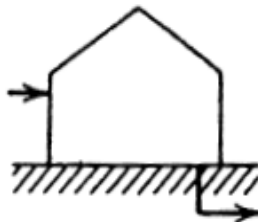
### APPENDIX C SPESIFIKASI ALAT

Kapasitas Produksi	=	40000	ton/tahun
Waktu Operasi	=	24	jam/hari
	=	330	hari/tahun
Satuan Massa	=	kg/jam	
Satuan Panas	=	kcal/jam	
Konversi :			
1 kg	=	2,2046 lb	1 ft = 0,3048 m
1 gr/cc	=	62,43 lb/cuft	= 12 in
1 atm	=	14,6960 psi	1 lb/cuft = 16,0185 kg/m <sup>3</sup>
1 cuft	=	0,0283 m <sup>3</sup>	1 hp = 550,0000 lb ft/dt
1 cuft/min	=	7,4805 gpm	1 kcal = 4,1840 kj
1 lbf/ft <sup>2</sup>	=	0,006944 psi	1 btu = 1,0551 kj
			= 0,2522 kcal

#### 1. GUDANG Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (F - 110)

Fungsi	=	Menyimpan Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> dari <i>supplier</i>
Type	=	Bangunan Segi 4
Dasar Pemilihan	=	Digunakan sebagai tempat penyimpanan padatan
Kondisi Operasi	=	
Tekanan	=	1 atm ( <i>Atmosfer pressure</i> )
Suhu	=	30 °C ( <i>Suhu ruang</i> )
Waktu Penyimpanan	=	3 hari proses

**Inlet**  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



**Outlet**  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Perhitungan :

Komposisi Bahan :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	ρ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	0,9970	2,5330
NaCl	7,5659	0,0020	2,1630
H <sub>2</sub> O	3,7830	0,0010	1,0000
	3782,9634	1,0000	



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Densitas Campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ Komponen}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft} \\ &= \frac{1}{\frac{0,9970}{2,5330} + \frac{0,002}{2,163} + \frac{0,001}{1}} \times 62,43 \\ &= 157,8392 \text{ lb/cuft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 3782,9634 \text{ kg/jam} \\ &= 8340,0346 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{8340,0346 \text{ lb/jam}}{157,8392 \text{ lb/cuft}} \\ &= 52,8388 \text{ cuft/jam} \end{aligned}$$

Direncanakan penyimpanan untuk 3 hari proses, 3 buah gudang (untuk mempermudah pengeluaran dan pengisian), sehingga volume bahan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Volume Bahan} &= \frac{52,8388 \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 3 \text{ hari}}{3 \text{ tangki}} \\ &= 1268,1311 \text{ cuft} \end{aligned}$$

Asumsi bahan mengisi 50% volume gudang (untuk faktor keamanan)

Asumsi Volume Bahan = 50% volume gudang

$$\begin{aligned} \text{Volume gudang} &= \frac{1268,1311 \text{ cuft}}{50\%} \\ &= 2536,2622 \text{ cuft} \end{aligned}$$

### Dimensi Gudang Penyimpanan:

$$\text{Panjang} = 2x$$

$$\text{Lebar} = x$$

$$\text{Tinggi} = x$$

$$\begin{aligned} \text{Volume gudang} &= p \times l \times t \\ 2536,2622 &= 2x \times x \times x \\ 2536,2622 &= 2x^3 \\ 1268,1311 &= x^3 \\ x &= 10,8240 \text{ ft} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

Jadi :

$$\text{Panjang} = 21,6480 \quad \text{ft} = 6,5983 \quad \text{m}$$

$$\text{Lebar} = 10,8240 \quad \text{ft} = 3,2992 \quad \text{m}$$

$$\text{Tinggi} = 10,8240 \quad \text{ft} = 3,2992 \quad \text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Alas} &= p \times l \\ &= 21,6480 \times 10,8240 \\ &= 234,3182 \quad \text{ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Gudang} &= p \times l \times t \\ &= 21,6480 \times 10,8240 \times 10,8240 \\ &= 2536,2622 \quad \text{ft}^3 \\ &= 71,8016 \quad \text{m}^3 \end{aligned}$$

### Spesifikasi :

Kapasitas	=	2536,2622	cuft
Fungsi	=	Menampung $\text{Na}_2\text{CO}_3$ dari <i>supplier</i>	
Type	=	Bangunan Segi 4	
Dasar Pemilihan	=	Digunakan untuk menampung padatan	
Waktu Penyimpanan	=	3 hari proses	
Panjang Gudang	=	21,6480	ft = 6,5983 m
Lebar Gudang	=	10,8240	ft = 3,2992 m
Tinggi Gudang	=	10,8240	ft = 3,2992 m
Jumlah	=	3	buah

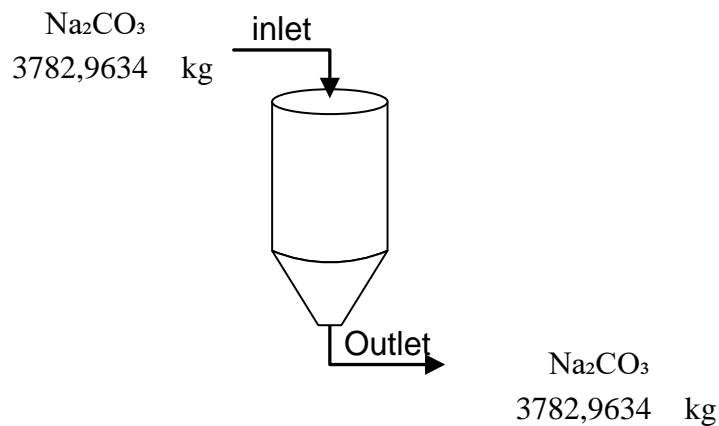


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 2. HOPPER Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (J-123)

- Fungsi = Menampung Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dari *Bucket Elevator*  
 Type = Silinder tegak dengan tutup atas datar dan bawah conis  
 Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk menampung padatan  
 Kondisi Operasi =  
 Tekanan = 1 atm (*Atmosfer pressure*)  
 Suhu = 30 °C (*Suhu ruang*)  
 Waktu Penyimpanan = 1 jam = 60 menit



Perhitungan

Komposisi Bahan :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	ρ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	0,9970	2,5330
NaCl	7,5659	0,0020	2,1630
H <sub>2</sub> O	3,7830	0,0010	1,0000
	3782,9634	1,0000	

$$\begin{aligned} \text{Densitas Campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ Komponen}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft} \\ &= \frac{1}{\frac{0,997}{2,533} + \frac{0,002}{2,163} + \frac{0,001}{1}} \times 62,43 \\ &= 157,8392 \text{ lb/cuft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 3782,9634 \text{ kg/jam} \\ &= 8340,0346 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{8340,0346 \text{ lb/jam}}{157,8392 \text{ lb/cuft}} \\ &= 52,8388 \text{ cuft/jam}\end{aligned}$$

Direncanakan penyimpanan untu 1 jam proses, sehingga volume bahan adalah :

$$\begin{aligned}\text{Volume Bahan} &= 52,838797 \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 1 \text{ jam} \\ &= 52,838797 \text{ cuft}\end{aligned}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (untuk faktor keamanan)

Asumsi Volume Bahan = 80% volume tangki

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki} &= \frac{52,8388 \text{ cuft}}{80\%} \\ &= 66,0485 \text{ cuft} \\ &= 1,8698 \text{ m}^3\end{aligned}$$

### Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi *Dimention Ratio* H/D = 2 - 5 (*Ulrich : T.4-27*)

Dipilih H/D = 2

$$\begin{aligned}\text{Volume Tangk} &= 1/4 \pi D^2 H \\ 66,0485 &= 1/4 \times 3,14 \times D^2 \times 2 D \\ 66,0485 &= 1 4/7 D^3 \\ 42,0691 &= D^3 & \quad H &= 2 D \\ D &= 3,4779 \text{ ft} & &= 6,9559 \text{ ft} \\ &= 41,7352 \text{ in} & &= 83,4704 \text{ in} \\ &= 1,0601 \text{ m} & &= 2,1201 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{H bahan} &= 80\% H \\ &= 80\% \times 6,9559 \text{ ft} \\ &= 5,5647 \text{ ft} \\ &= 66,7763 \text{ in} \\ &= 1,6961 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{P operasi} &= 1 \text{ atm} \\ &= 14,7 \text{ psi}\end{aligned}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

$$\begin{aligned}\text{P design} &= 14,7 \times 1,1 \\ &= 16,17 \text{ psi}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Menentukan Tebal Minimum Shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk *cylindrical tank* :

$$t_{s\min} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \quad [\text{Brownell, pers. 13-1, hal 254}]$$

Dimana :

$t_{s\min}$  = tebal *shell* minimum (in)

P = tekanan tangki (psi)

$r_i$  = jari-jari tangki (in;  $1/2D$ )

C = faktor korosi (in;  $1/8$  in) [Brownell, pg 254]

E = faktor pengelasan (*double welded*; 0,8 )

f = *allowable stress*, bahan konstruksi *Carbon Steel SA-283 Grade C*  
maka,  $f_{all} = 12650$  psi [Brownell, T.13-1, pg 251]

Asumsi tebal shell =  $3/16$  in

$$t_{s\min} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C$$

$$3/16 \text{ in} = \frac{16,17 \text{ psi} \times (0,5 \times 41,7352 \text{ in})}{f \cdot 0,8 - 9,6994 \text{ psi}} + 1/8 \text{ in}$$

$$1/16 \text{ in} = \frac{337,33715 \text{ psi} \cdot \text{in}}{f \cdot 0,8 - 9,6994 \text{ psi}}$$

$$f = 6734,6188 \text{ psi}$$

f hitung lebih kecil dari pada *f allowable*, jadi tebal *shell*  $3/16$  **memenuhi**

### Menghitung Tutup Bawah Berbentuk Conical

Untuk tebal tutup atas disamakan dengan tebal tutup bawah, karena tutup bawah lebih banyak menerima beban

$$t_c = \frac{P \times D_i}{2 \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + C$$

Dengan  $\alpha = 30^\circ$

Asumsi tebal *shell* =  $3/16$  in

$$t_c = \frac{P \times D_i}{2 \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + C$$

$$3/16 = \frac{14,7 \text{ psi} \times 41,7352 \text{ in}}{2 (\cos 30) ((f \cdot 0,8) - (0,6 \times 14,7))} + 1/8$$

$$1/16 = \frac{613,34027 \text{ psi} \cdot \text{in}}{1,73 ((f \cdot 0,8) - (8,8176 \text{ psi}))}$$

$$1/16 = \frac{613,34027 \text{ psi} \cdot \text{in}}{1,3856 f - 15,2725 \text{ psi}}$$

$$f = 7093,2654 \text{ psi}$$

f hitung lebih kecil dari pada *f allowable*, jadi tebal *shell*  $3/16$  **memenuhi**



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Tinggi Conical

$$h = \frac{\text{tg } \alpha \times (D - m)}{2} \quad [\text{Hesse, pers 4-17}]$$

Dengan :  $\alpha$  = sudut conis  $30^\circ$

D = diameter tangki (ft)

m = *flat spot* diameter = 12 in = 1 ft

$$h = \frac{\text{tg } \alpha \times (D - m)}{2}$$

$$h = \frac{\text{tg } (30) \times (3,4779 - 1)}{2}$$

$$h = \frac{0,5774 \times 2,4779}{2} = 0,7153 \text{ ft}$$

### Spesifikasi :

Fungsi = Menampung  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dari *Bucket Elevator*

Type = Silinder tegak dengan tutup atas datar dan bawah *conical*

Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk menampung padatan

Kapasitas = 66,0485 cuft = 1,8698  $\text{m}^3$

Diameter Tangki = 3,4779 ft = 1,0601  $\text{m}^3$

Tinggi Tangki = 6,9559 ft = 2,1201  $\text{m}^3$

Tebal *Shell* = 3/16 in

Tebal Tutup Bawah = 3/16 in

Tebal Tutup Atas = 3/16 in

Tinggi *Conical* = 0,7153 ft

*Cone Conical* =  $30^\circ$

Jumlah = 1 buah

Bahan Konstruksi = *Carbon Steel SA-283 Grade C*

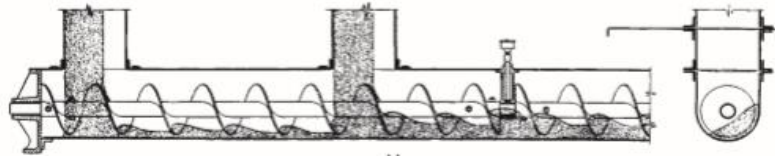


### Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 3. SCREW CONVEYOR Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (J-121)

- Fungsi = Memindahkan bahan dari gudang ke bucket elevator  
 Type = *Plain spots or chutes*  
 Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup



#### Feed Masuk Screw Conveyor :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	ρ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	0,9970	2,5330
NaCl	7,5659	0,0020	2,1630
H <sub>2</sub> O	3,7830	0,0010	1,0000
	3782,9634	1,0000	

$$\begin{aligned} \text{Densitas Campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ Komponen}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft} \\ &= \frac{1}{\frac{0,997}{2,533} + \frac{0,002}{2,163} + \frac{0,001}{1}} \times 62,43 \\ &= 157,8392 \text{ lb/cuft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 3782,9634 \text{ kg/jam} \\ &= 8340,0346 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{8340,0346 \text{ lb/jam}}{157,8392 \text{ lb/cuft}} \\ &= 52,8388 \text{ cuft/jam} \\ &= 0,8806 \text{ cuft/menit} \\ &= 6,5877 \text{ gpm} \end{aligned}$$

$$\text{Power Motor} = \frac{C \cdot L \cdot W \cdot F}{33000} \quad [\text{Badger, pers. 16-4}]$$

Keterangan :

- C = Kapasitas (cuft/menit)  
 L = Panjang (ft)  
 W = Densitas bahan (lb/cuft)





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Asumsi Panjang Conveyor } L &= 30 \text{ ft} \\ &= 9,14 \text{ m} \\ \text{Power Motor} &= \frac{0,8806 \times 30 \times 157,83922 \times 4}{33000} \\ &= 0,5055 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk power hp } < 2, \text{ maka dikalikan } 2 \quad (\text{Badger : 713}) \\ \text{Power Motor} &= 0,5055 \times 2 \\ &= 1,0109 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Motor} &= 80\% \text{ maka,} \\ \text{Power Motor} &= \frac{1,0109}{80\%} \\ &= 1,2636 \\ &\approx 2 \end{aligned}$$

Dari *Perry 7ed, Tabel 21-6 hal 21-8*, berdasarkan kapasitas didapatkan :

Kapasitas maksimum	=	5	ton/jam
Diameter <i>flight</i>	=	9	in
Diameter pipa	=	2 1/2	in
<i>Diameter of shaft</i>	=	2	in
<i>Hanger center</i>	=	10	ft
Diameter <i>feed section</i>	=	6	in
Kecepatan <i>screw conveyor</i>	=	40	rpm

### Spesifikasi :

Fungsi	=	Memindahkan bahan dari gudang ke <i>bucket elevator</i>
Type	=	<i>Plain spots or chutes</i>
Dasar Pemilihan	=	Umum digunakan pada padatan dengan sistem tertutup
Kapasitas	=	3782,9634 kg/jam
Rate Volumetrik	=	6,5877 gpm
Diameter flight	=	9 in
Diameter pipa	=	2 1/2 in
Diameter of shaft	=	2 in
Kecepatan (rpm)	=	40 rpm
Elevasi	=	Horizontal
Panjang	=	30 ft
Efisiensi	=	80%
Power	=	2 Hp
Jumlah	=	1

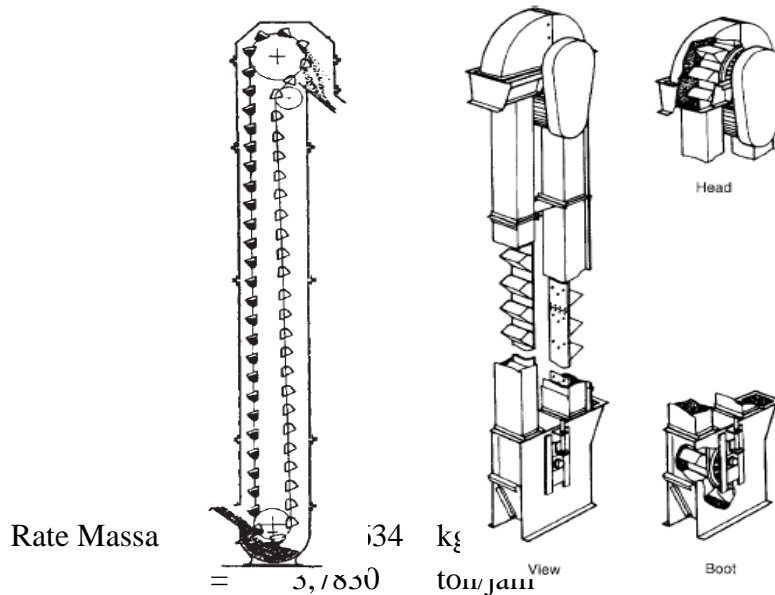


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 4. BUCKET ELEVATOR $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (J-122)

- Fungsi = Memindahkan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dari *Screw Conveyor* ke *Hopper*  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- Type = *Continuous Discharge Bucket Elevator*.
- Dasar Pemilihan = Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu



$$\begin{aligned} \text{Asumsi jarak bucket dari dasar} &= 5 \text{ ft} \\ \text{Tinggi Bucket} &= (\text{Screw Conveyor} + \text{Hopper} + \text{Tangki Pelarutan}) \\ &= 5 + 6,9559 + 9,8245 \\ &= 21,7803 \text{ ft} \\ &= 6,6386 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan kapasitas 4,7287 ton/jam dari **Perry 7ed, tabel 21-8** dipilih *bucket elevator* dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas maksimum} &= 14 \text{ ton/jam} \\ \text{Power pada head shaft} &= 1 \text{ hp} \\ \text{Power tambahan} &= 0,02 \text{ hp/ft} \\ &= 0,02 \text{ hp/ft} \times 6,6386 = 0,1 \text{ hp/ft} \\ \text{Power total} &= 1,0 + 0,5 = 1,5 \text{ hp} \\ \text{Efisiensi motor} &= 80\% \\ \text{Power motor} &= \frac{1,5}{80\%} \text{ hp} = 1,875 \approx 2 \\ \text{Kecepatan bucket} &= 225 \text{ ft/menit} \\ \text{Putaran head shaft} &= 43 \text{ rpm} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi :

Fungsi	= Memindahkan $\text{Na}_2\text{CO}_3$ dari <i>Screw Conveyor</i> ke <i>Hopper <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math></i>
Type	= <i>Continuous Discharge Bucket Elevator</i> .
Dasar Pemilihan	= Untuk memindahkan bahan pada ketinggian tertentu
Kapasitas maks	= 14 ton/jam
Dimensi	= 6 in $\times$ 4 in $\times$ 4 1/4 in
<i>Bucket spacing</i>	= 12 in
Tinggi <i>elevator</i>	= 21,7803 ft 6,6386 m
Ukuran <i>feed</i> (maks)	= 3/4 in
Kecepatan <i>bucket</i>	= 225 ft/menit
Putaran <i>head shaft</i>	= 43 rpm
Lebar <i>belt</i>	= 7 in
<i>Power total</i>	= 2 hp
Bahan	= <i>Carbon Steel</i>
Alat pembantu	= <i>Hopper chute</i> (pengumpan)
Jumlah	= 1

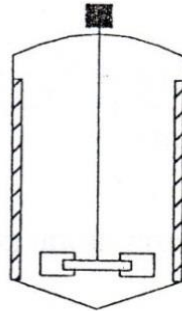


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 5. TANGKI PELARUTAN $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (M-130)

- Fungsi = Melarutkan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan air proses  
Type = Silinder tegak, tutup atas dan bawah *torispherical* dilengkapi pengaduk  
Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk mengencerkan larutan dengan tekanan *atmosphere*  
Kondisi Operasi = Tekanan operasi = 1 atm  
Suhu operasi = 30 °C  
Waktu tinggal = 60 menit



Perhitungan :

Kondisi Feed :

#### 1. Feed $\text{Na}_2\text{CO}_3$ dari Gudang F-120

$$\begin{aligned}\text{Rate Massa} &= 3782,9634 \text{ kg/jam} \\ &= 8340,0346 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{8340,0346 \text{ lb/jam}}{157,8392 \text{ lb/cuft}} \\ &= 52,8388 \text{ cuft/jam}\end{aligned}$$

#### 2. Feed air proses dari utilitas:

$$\begin{aligned}\text{Rate Massa} &= 2719,8202 \text{ kg/jam} \\ &= 5996,1973 \text{ lb/jam} \\ \rho \text{ air } (\rho \text{ ref}) &= 62,43 \text{ lb/cuft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{5996,1973 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}} \\ &= 96,0467 \text{ cuft/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Rate Volumetrik} &= 52,8388 + 96,0467 \\ &= 148,8855 \text{ cuft/jam}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Digunakan 1 tangki untuk 1 jam proses, maka volume bahan:

$$\begin{aligned}\text{Volume bahan} &= 148,8855 \text{ cuft/jam} \times 1 \text{ jam} \\ &= 148,8855 \text{ cuft}\end{aligned}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (untuk faktor keamanan)

Asumsi Volume Bahan = 80% volume tangki

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki} &= \frac{148,8855 \text{ cuft}}{80\%} & t &= 1,25 \\ &= 186,1069 \text{ cuft}\end{aligned}$$

### Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi *Dimension Ratio* H/D = 2 - 5 (*Ulrich : T.4-27*)

Dipilih H/D = 2

Volume Tangk =  $1/4 \pi D^2 H$

$$V_s = 1/4 \times 3 \times D^2 \times 2 D$$

$$V_s = 1,57 D^3$$

Dimana :

$$V \text{ tutup atas} = 0,000049 D_s^3 \text{ [Brownell; hal 88 (5.11)]}$$

$$V \text{ tutup bawah} = 0,000049 D_s^3$$

Jika diambil  $\alpha = 30^\circ$

Volume tangki =  $V_s + V \text{ tutup atas} + V \text{ tutup bawah}$

$$186,1069 = 1,57 D^3 + (2 \times 0,000049 D_s^3)$$

$$186,1069 = 1,5701 D^3$$

$$118,5320 = D^3 \qquad H = 2 D$$

$$D = 4,9122 \text{ ft} \qquad = 9,8245 \text{ ft}$$

$$= 58,9467 \text{ in} \qquad = 117,8935 \text{ in}$$

$$= 1,4972 \text{ m} \qquad = 2,9945 \text{ m}$$

H bahan = 80% H

$$= 80\% \times 9,8245 \text{ ft}$$

$$= 7,8596 \text{ ft}$$

$$= 9,6 \text{ in}$$

$$= 2,3956 \text{ m}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Perhitungan :

Komposisi Bahan

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3771,6145	0,5800	2,5330
NaCl	7,5659	0,0012	2,1630
H <sub>2</sub> O	2723,6032	0,4188	1,0000
	6502,7837	1,0000	

$$\begin{aligned} \text{Densitas Campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ Komponen}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft} \\ &= \frac{1}{\frac{0,58}{2,533} + \frac{0,0011635}{2,163} + \frac{0,4188365}{1}} \times 62,43 \\ &= 96,2903 \text{ lb/cuft} \end{aligned}$$

### Menentukan Tekanan Desain

$$\begin{aligned} P \text{ hidrostatik} &= \rho \times \frac{g}{gc} \times H \text{ liq} \\ &= 96,2903 \frac{\text{lbm}}{\text{cuft}} \times 1 \frac{\text{lbf}}{\text{lbm}} \times 7,8596 \text{ ft} \\ &= 756,80 \text{ lbf/ft}^2 \\ &= 5,255 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ operasi} &= P_o - p_i + P_{\text{hidrostatik}} \\ &= 14,7 - 14,7 + 5,2552 \\ &= 5,2552 \text{ psi} \end{aligned}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

$$\begin{aligned} P \text{ design} &= 5,2552 \times 1,1 \\ &= 5,7807 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Menentukan Tebal Minimum Shell

Tebal *shell* berdasarkan ASME code untuk *cylindrical tank* :

$$t_{s_{min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \quad [Brownell, pers. 13-1, hal 254]$$

Dimana :

$t_{s_{min}}$  = tebal *shell* minimum (in)

P = tekanan tangki (psi)

$r_i$  = jari-jari tangki (in;  $1/2 D$ )

C = faktor korosi (in;  $1/8$  in) [Brownell, T.13-2]

E = faktor pengelasan (*double welded*, 0,8 )

f = *allowable stress*, bahan konstruksi *Carbon Steel SA-283 Grade C*  
maka, f = 12650 psi [Brownell, T.13-1; pg 254]

Asumsi tebal *shell* =  $3/16$  in

$$t_{s_{min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C$$

$$3/16 \text{ in} = \frac{5,2552 \text{ psi} \times (1/2 \times 58,9467 \text{ in})}{f \cdot 0,8 - 3,1531 \text{ psi}} + 1/8 \text{ in}$$

$$1/16 \text{ in} = \frac{154,8890 \text{ psi in}}{f \cdot 0,8 - 3,1531 \text{ psi}}$$

$$f = 3093,8390 \text{ psi}$$

f hitung lebih kecil dari pada *allowable*, jadi tebal *shell*  $3/16$  **memenuhi**

### Menentukan Tebal Tutup Atas dan Bawah:

Tutup atas dan bawah dipilih *torispherical*

$$OD = ID + 2 ts$$

$$= 58,9467 + 2 \times 3/16$$

$$= 59,3217$$

*Berdasarkan Brownell tabel 5.7 hal 90*

$$OD = 66 \text{ in}$$

$$ts = 1/4 \text{ in}$$

$$icr = 4 \text{ in}$$

$$rc = 66 \text{ in}$$

karena  $icr$  lebih besar dari 6%  $rc$  maka digunakan *persamaan 7.77*

*Brownell & Young hal. 138*



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$t_h = \frac{P \times rc \times W}{2 f \cdot e - 0,2 P} + C$$

$$W = \frac{1}{4} ( 3 + \sqrt{rc / icr} )$$

Keterangan :

$t_h$  = tebal tutup (*head*) *shell* minimum (in)

$rc$  = *radius of curfative* sama dengan diameter (in)

$W$  = faktor *stress* intensif untuk *torispherical*

$P$  = tekanan tangki (psia)

$E$  = faktor pengelasan (*double welded butt joint* = 0,8 )

$C$  = faktor korosi = 1/4 in

$f$  = *allowable stress*, bahan konstruksi *Carbon Steel SA-283 Grade C*

maka,  $f = 12650$  psi [Brownell, T.13-11]

Asumsi tebal *head* = 5/16 in

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{4} ( 3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} ) \\ &= \frac{1}{4} ( 3 + \sqrt{\frac{66}{4}} ) \\ &= 1,7655 \end{aligned}$$

$$t_h = \frac{P \times rc \times W}{2 f \cdot E - 0,2 P} + C$$

$$5/16 = \frac{5,7807 \times 66 \times 1,7655}{2 f \cdot 0,8 - 0,2 \times 5,7807} + 0,25$$

$$1/16 = \frac{673,5911}{f \cdot 1,6 - 1,1561}$$

$$f = 6736,6335$$

$f$  hitung lebih kecil dari pada  $f$  *allowable*, jadi tebal *shell* 5/16 **memenuhi**

### Tinggi tutup *torispherical*

$$h = r - ( r^2 - ( \frac{D^2}{4} ) 0,5 ) \quad (\text{Hesse, hal 4-14})$$

$$= 66 - ( 66^2 - ( \frac{3474,7187}{4} ) 0,5 )$$

$$= 6,9465 \quad \text{in}$$

$$= 0,5789 \quad \text{ft}$$

$$= 0,1764 \quad \text{m}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Perencanaan Sistem Pengaduk

Jumlah *Baffle* = 4 buah

Jumlah *Impeller* (Pengaduk) antara 4 - 16, tetapi umumnya 6 atau 8

Dipilih pengaduk *type flat blade turbine* dengan jumlah *blade* = 6

#### 1. Penentuan Dimensi Pengaduk

Tinggi bahan total  $H_L = 7,8596 \text{ ft} = 94,3148 \text{ in}$

Diameter dalam  $D_t = 4,9122 \text{ ft} = 58,9467 \text{ in}$

Ukuran pengaduk diambil dari *Mc. Cabe ed 7th, hal 247*

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$
$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \quad \frac{H}{D_t} = 1$$

Keterangan :

$D_a$  = Diameter *impeller* (pengaduk)

$D_t$  = Diameter tangki

$L$  = Panjang *blade*

$W$  = Lebar *blade*

$E$  = Jarak *impeller* (pengaduk) dari dasar tangki

$J$  = Lebar *baffle*

$$\begin{aligned} \text{Diameter } \textit{impeller} (D_a) &= 1/3 D_t &= 0,333 \times \text{diameter tangki} \\ & &= 0,333 \times 4,9122 \\ & &= 1,6358 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar } \textit{blade} (W) &= 1/5 D_a &= 0,2 \times \text{diameter } \textit{impeller} \\ & &= 0,2 \times 1,6358 \\ & &= 0,3272 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang } \textit{blade} (L) &= 1/4 D_a &= 0,25 \times \text{diameter } \textit{impeller} \\ & &= 0,25 \times 1,6358 \\ & &= 0,4089 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak } \textit{impeller} \text{ dari dasar } (E) &= 1/3 D_t &= 0,333 \times \text{diameter tangki} \\ & &= 0,333 \times 4,9122 \\ & &= 1,6358 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar } \textit{baffle} (J) &= 1/12 D_t &= 0,083 \times \text{diameter tangki} \\ & &= 0,083 \times 4,9122 \\ & &= 0,4077 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal pengaduk} &= \frac{1}{10} \times \text{Panjang } \textit{Blade} \\ &= \frac{1}{10} \times 0,4089 \\ &= 0,0408943 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Pengaduk } (H) &= 1 \text{ diameter tangki} \\ &= 4,9122 \text{ ft} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 2. Penentuan Jumlah Pengaduk

$$\text{Jumlah } \underset{\text{impeller}}{=} = \frac{\text{tinggi liquid} \times \text{Sg}}{\text{Diameter tangki}} \quad (\text{Joshi : 415})$$

$$\text{Sg} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference (H}_2\text{O)}}$$

$$\text{Sg} = \frac{96,2903}{62,43}$$

$$\text{Sg} = 1,5424$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } \underset{\text{impeller}}{=} &= \frac{\text{tinggi liquid} \times \text{Sg}}{\text{Diameter tangki}} \\ &= \frac{7,8596 \times 1,5424}{4,9122} \end{aligned}$$

$$= 2,4678 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Pengaduk} &= 2,47 \times \text{Da} \\ &= 2,47 \times 1,6358 \\ &= 4,0368 \text{ ft} \end{aligned}$$

### 3. Penentuan Power Motor

$$V = \pi \times \text{Da} \times N \quad (\text{Dean : 389})$$

dengan:  $V = \text{pheripheral speed}$  (m/menit)

untuk pengaduk jenis turbin

$$V = 200 - 250 \text{ m/menit}$$

$\text{Da} = \text{diameter pengaduk}$  (m)

$N = \text{putaran pengaduk}$  (rpm)

Dipilih putaran pengaduk,  $N = 130 \text{ rpm}$

$$\begin{aligned} \text{Da} &= 1,6358 \text{ ft} \\ &= 0,4986 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \pi \times \text{Da} \times N \\ &= 3,14 \times 0,4986 \times 130 \\ &= 203,5217 \text{ m/menit} \quad (\text{memenuhi range } 200 - 250 \text{ m/menit}) \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Bilangan Reynold,  $N_{Re}$  :

$$\text{Putaran pengaduk, } N = 130 \text{ rpm} = 2,17 \text{ rps}$$

$$\rho \text{ campuran} = 96,29 \text{ lb/cuft}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ bahan} &= \frac{Sg \text{ bahan}}{Sg \text{ ref}} \times \mu \text{ reference} \\ &= \frac{1,5424}{1} \times 0,00085 \end{aligned}$$

$$\mu \text{ bahan} = 0,0013 \text{ lb/ft.dt} \text{ (berdasarkan } Sg \text{ bahan)}$$

$$N_{Re} = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{96,29 \times 2,676 \times 2}{0,0013}$$

$$N_{Re} = 425806,3496 > 2100$$

Untuk  $N_{Re} > 10000$  diperlukan 6 buah *baffle* , sudut  $90^\circ$  . [Perry 8ed : 18-13]

### Power pengaduk:

Untuk  $N_{Re} > 10000$  perhitungan *power* digunakan persamaan berikut :

$$P = \frac{K_3}{g} \rho (N)^3 (Da)^5 \quad [\text{Ludwig, vol-1, pers 5.5 : 299}]$$

Keterangan :

$$P = \text{power} \quad (\text{hp})$$

$$K_3 = \text{faktor mixer (turbin)} \quad (6,3) \quad [\text{Ludwig, vol-1 T.5-1 : 301}]$$

$$g = \text{konstanta gravitasi} \quad (32,3 \text{ ft/dt}^2 \times \text{lb}_m/\text{lb}_f)$$

$$\rho = \text{densitas} \quad (\text{lb/cuft})$$

$$N = \text{kecepatan putaran impeller} \quad (\text{rps})$$

$$Da = \text{diameter impeller} \quad (\text{ft})$$

$$P = \frac{6,3}{32,3} \times 96,2903 \times 10,2 \times 11,7115$$

$$P = 2237,2315 \text{ lb.ft/dt}$$

$$= 4,0677 \text{ hp}$$

### Perhitungan losses pengaduk:

$$\begin{aligned} \text{Gland losses (kebocoran tenaga akibat poros dan bearing)} &= 10\% \\ &[\text{Joshi; 424}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gland losses } 10\% &= 10\% \times 4,0677 \\ &\approx 0,4067694 \text{ hp} \quad \text{minimum} = 0,6 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power input dengan gland losses} &= 4,0677 + 0,4068 \\ &= 4,4745 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Transmission system losses} &= 20\% \\ &= 20\% \times 4,4745 \\ &= 0,8949 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power input dengan transmission system loss} &= 4,4745 + 0,8949 \\ &= 5,3694 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk 2 impeller, maka power input} &= 2 \times 5,3694 \\ &= 13,2505 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi motor} &= 80\% \\ \text{Power motor} &= \frac{13,25}{80\%} = 16,563 \end{aligned}$$

$$\text{Digunakan power motor} = 17 \text{ hp}$$

### Spesifikasi

- Fungsi = Melarutkan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan air proses  
Type = Silinder tegak, tutup atas dan bawah *torispherical* dilengkapi pengaduk  
Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk mengencerkan larutan dengan tekanan *atmosphere*

### Dimensi shell :

- Diameter *shell inside* = 4,9122 ft = 1,4972 m  
Tinggi *shell* = 9,8245 ft = 2,9945 m  
Tebal *shell* = 3/16 in  
Tinggi total tangki = 10,9822 ft  
Tinggi tutup (atas & bawah) = 0,5789 ft  
Tebal tutup (atas & bawah) = 5/16  
Bahan konstruksi = *Carbon Steel SA-283 Grade C*  
Jumlah tangki = 1 buah

### Sistem pengaduk :

- Dipakai *impeller* jenis turbin dengan 6 buah *flat blade* dengan 2 *impeller*.  
Diameter *impeller* = 1,6358 ft = 0,4986 m  
Lebar *blade* = 0,3272 ft = 0,0997 m  
Panjang *blade* = 0,4089 ft = 0,1246 m  
Jarak *impeller* dari dasar = 1,6358 ft = 0,4986 m  
Lebar *baffle* = 0,4077 ft = 0,1243 m  
Jumlah *Impeller* = 2 buah  
Power motor = 17 hp



## Pra Rencana Pabrik

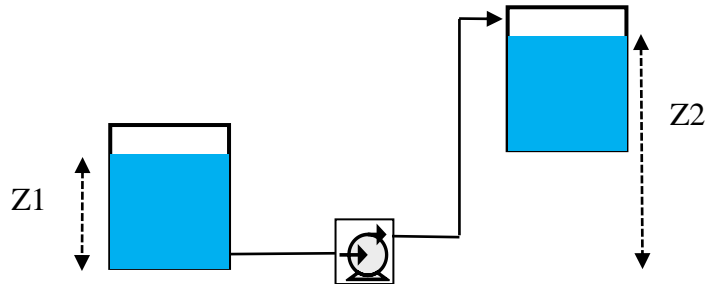
“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 6. POMPA-2 (L-131)

Fungsi = Memindahkan bahan dari Tangki Pelarutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ke *heater*

Type = *Centrifugal pump*

Dasar Pemilihan = Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid



Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	3771,6145	0,5800	2,5330
$\text{NaCl}$	7,5659	0,0012	2,1630
$\text{H}_2\text{O}$	2723,6032	0,4188	1,0000
<b>Total</b>	<b>6502,7837</b>	<b>1,0000</b>	

**Perhitungan :** (Asumsi = *viscous flow*)

Bahan Masuk = 6502,7837 kg/jam = 14336,2319 lb/jam

$\rho$  reference = 62,43 lb/cuft

$\rho$  bahan = 96,2903 lb/cuft = 1542,4226 kg/m<sup>3</sup>

Rate Volumetrik =  $\frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$

$$= \frac{14336,2319 \text{ lb/jam}}{96,2903 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 148,8855 \text{ cuft/jam}$$

$$= 2,4814 \text{ cuft/menit}$$

$$= 18,5624 \text{ gpm}$$

$$= 0,0414 \text{ cuft/detik} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{detik}$$

**Asumsi *viscous flow***

Di optimum untuk *viscous flow*,  $NRe < 2100$  digunakan eq. (16) Peters:

$$Di \text{ optimum} = 3 \times q_f^{0,36} \times \rho^{0,18}$$

Dengan  $q_f$  = *fluid flow rate* (cuft/dt)

$\rho$  = *fluid density* (lb/cuft)

$$\text{Diameter optimum (Di)} = 3 \times 0,318 \times 2,275$$

$$= 2,1683 \text{ in } [Peters \text{ 4ed, pers 15 hal 496}]$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Dipilih pipa 2 1/2 in sch 40 ST 40S [*Brownell, appendix K, pg 387*]

$$OD = 2,875 \text{ in}$$

$$ID = 2,441 \text{ in} = 0,2 \text{ ft} = 0,0620 \text{ m}$$

$$A = 0,639 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan aliran, } v &= \frac{\text{Rate volumetrik cuft/menit}}{(\text{Area pipa} \times s) \text{ ft}^2 \times 60 \text{ detik}} \\ &= \frac{2,4814}{0,639 \times 60} \\ &= 0,0647 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sg bahan} &= \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference (H}_2\text{O)}} \times \text{Sg reference} \\ &= \frac{96,2903}{62,43} \times 1 \end{aligned}$$

$$\text{Sg bahan} = 1,5424$$

Berdasarkan Sg bahan

$$\mu \text{ reference} = 0,00085 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ bahan} &= \frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference (H}_2\text{O)}} \times \mu \text{ reference} \\ &= \frac{1,5424}{1} \times 0,00085 \end{aligned}$$

$$\mu \text{ bahan} = 0,0013 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} \text{NRe} &= \frac{ID \ v \ \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,2 \times 0,065 \times 96,29}{0,0013} \\ &= 966,9635 < 2100 \text{ Asumsi } \textit{viscous flow} \text{ BENAR} \end{aligned}$$

Dipilih pipa *commercial steel*

$$\varepsilon = 0,000046 \text{ m} \quad [\textit{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$\varepsilon/D = \frac{0,000046}{0,0620014} = 0,000742$$

$$f = 0,0045 \quad [\textit{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$gc = 32,174$$

$$a = 0,5 \text{ (viscous flow)} \quad (\textit{Peters \& Timmerhause 4ed : 485})$$

$$k = 0,4 \text{ A tangki} > \text{A pipa} \quad (\textit{Peters \& Timmerhause 4ed : 484})$$

Digunakan persamaan Bernoulli:

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 a gc} + \Sigma f$$

Perhitungan friksi berdasarkan *Peters, 4ed, Tabel 1 hal. 484*

$$\text{Taksiran panjang pipa lurus} = 30 \text{ ft}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Panjang ekuivalen suction, L *(Peters 4ed; Tabel 1)*

$$\begin{aligned}
 & \bullet 2 \text{ Elbow } 90^\circ = 2 \times 32 \times (\text{ID} = 0,2 \text{ ft}) = 13,019 \text{ ft} \\
 & \bullet 1 \text{ Globe Valve} = 1 \times 300 \times (\text{ID} = 0,2 \text{ ft}) = 61,0250 \text{ ft} \\
 & \bullet 1 \text{ Gate valve} = 1 \times 7 \times (\text{ID} = 0,2 \text{ ft}) = 1,4239 \text{ ft} \\
 & \text{Panjang total pipa, Le} = 105,468 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

### Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$\begin{aligned}
 f_1 &= \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D} \\
 &= \frac{2 \times 0,005 \times 0,065^2 \times 105,468}{32,174 \times 0,2034} \\
 &= 0,0006 \text{ ft.lbf / lbm}
 \end{aligned}$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \text{luas penampang tangki pelarutan} = 18,94 \text{ ft}^2 \\
 A_2 &= \text{luas penampang pipa} = 0,6390 \text{ ft}^2 \\
 \frac{A_2}{A_1} &= \frac{0,6390}{18,9420} = 0,033734 \quad \text{A tangki} > \text{A pipa} \\
 \alpha &= 0,5 \text{ (viscous flow)} \quad \text{(Peters 4ed, Tabel 1 hal 484)} \\
 K_c &= 0,4 (1,25 - A_2/A_1) \quad \text{(Peters 4ed, Tabel 1 hal 484)} \\
 &= 0,4865
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_2 &= \frac{K_c \times v^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad \text{(Peters 4ed, Tabel 1 hal 484)} \\
 &= \frac{0,5 \times 0,065^2}{2 \times 1 \times 32,174} \\
 &= 6,334\text{E-}05 \text{ ft.lbf / lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi karena *enlargement* (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$\begin{aligned}
 f_3 &= \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} \\
 &= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad (A_1 > A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0) \\
 &= \frac{0,065^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,174} \\
 &= 0,0001 \text{ ft.lbf / lbm}
 \end{aligned}$$

4. Friksi karena *elbow* 90°

$$\begin{aligned}
 f_4 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \quad \text{(Geankoplis 3}^{ed}, \text{ pers. 2.10-17 hal 94)} \\
 & \quad \quad \quad k_f = 0,85 \\
 &= 0,85 \times \frac{0,0647^2}{2} \quad \text{(Geankoplis 3}^{ed}, \text{ Tabel 2.10-1 hal 93)} \\
 &= 0,0018 \text{ ft.lbf / lbm}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 5. Friksi karena *gate valve*

$$\begin{aligned}f_5 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \\ &= 0,85 \times \frac{0,065^2}{2} \\ &= 0,0018 \text{ ft.lbf / lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma f &= f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \\ &= 0,004 \text{ ft.lbf / lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1 \text{ atm} &= 14,7 \text{ psi} \times 144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 = 2116,8 \text{ lbf/ft}^2 \\ P_1 &= P \text{ hidrostatik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi bahan, H} &= 7,8596 \text{ ft} \\ \rho \text{ bahan} &= 96,2903 \text{ lb/cuft} \\ P \text{ hidrostatik} &= \rho \times g/gc \times H \\ &= 96,2903 \text{ lb/cuft} \times 1 \times 7,8596 \text{ ft} \\ &= 756,8000 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_1 &= 756,800 \text{ lb/ft}^2 + 2116,8 \text{ lb/ft}^2 \\ &= 2873,600 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_2 - P_1 \\ &= 2116,8 - 2873,6 \text{ lb/ft}^2 \\ &= 756,8 \text{ lb/ft}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P}{\rho} &= \frac{756,8}{96,29} \\ &= 7,8596 \frac{\text{lb/ft}^2}{\text{lbm/ft}^3} \\ &= 7,8596 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm/ft}^3}\end{aligned}$$

Berdasarkan H Reaktor

$$\begin{aligned}\text{Asumsi : } Z_2 &= H \text{ liq reaktor} = 15,151 \text{ ft} \\ Z_1 &= H \text{ liq tangki penyimpanan} = 7,860 \text{ ft} \\ g/gc &= 1 \text{ lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}g, \text{ percepatan gravitasi bun} &= 32,2 \text{ ft/dt}^2 \\ gc, \text{ konstanta gravitasi bun} &= 32,2 \text{ ft/dt}^2 \times \text{lbm/lbf}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} &= \frac{0,0647^2 - 0^2}{2 \times 0,5 \times 32,2} \\ &= 0,0001 \text{ ft.lbf / lbm}\end{aligned}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta Z \frac{g}{gc} &= (Z_2 - Z_1) \times g/gc \\ &= (15,151 - 7,860) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf} \\ &= 7,291 \frac{ft.lbf}{lbm}\end{aligned}$$

### Persamaan Bernoulli

$$\begin{aligned}-Wf &= \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F \\ &= 7,86 + 7,291 + 0,0001 + 0,004 \\ &= 15,155 \frac{ft.lbf}{lbm}\end{aligned}$$

Sg campuran (Himmelblau : berdasarkan Sg bahan)

Rate volumetrik = 18,5624 gpm

$$\begin{aligned}hp &= \frac{-Wf \times \text{flowrate (gpm)} \times sg}{3960} \quad [Perry 6ed; pers.6-11 ; hal.6-5] \\ &= \frac{15,155 \times 18,562 \times 1,5424}{3960} \\ &= 0,1096 \text{ hp}\end{aligned}$$

Efisiensi pompa = 52% *(Peters 4ed ; fig.14-37) pp 520*

$$\begin{aligned}Bhp &= \frac{hp}{\eta \text{ pompa}} \\ &= \frac{0,1096}{52\%} \\ &= 0,2107 \text{ hp}\end{aligned}$$

Efisiensi motor = 83% *(Peters 4ed; fig.14-38) pp 521*

$$\begin{aligned}Power \text{ motor} &= \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,2107}{83\%} \\ &= 0,2539 \text{ hp}\end{aligned}$$

digunakan power = 0,3 hp



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi:

Fungsi	= Memindahkan bahan dari Tangki Pelarut $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ke <i>heater</i>
Type	= <i>Centrifugal pump</i>
Dasar pemilihan	= Sesuai untuk viskositas $<10$ cP dan bahan liquid
Kapasitas	= 14336,2319 lb/jam
Kecepatan aliran	= 0,0647 ft/detik
Rate volumetrik	= 18,562 gpm
Total <i>dynamic head</i>	= 15,155 ft.lbf/lbm
Efisiensi motor	= 83%
<i>Power motor</i>	= 0,2539 hp
Bahan konstruksi	= <i>Commercial Steel</i>
Jumlah	= 1 Buah



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 7. HEATER-2 (E - 135)

Fungsi = Memanaskan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dari suhu  $47,7^\circ\text{C}$  menjadi  $85^\circ\text{C}$  dialirkan ke Reaktor

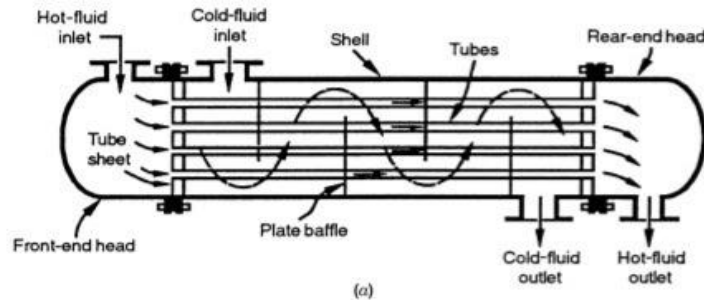
Tipe = *1-2 Shell and Tube Heat Exchanger (Fixed Tube)*

Dasar Pemilihan = Umum digunakan pada *range* perpindahan panas

Kondisi Operasi Tekanan = 1 atm

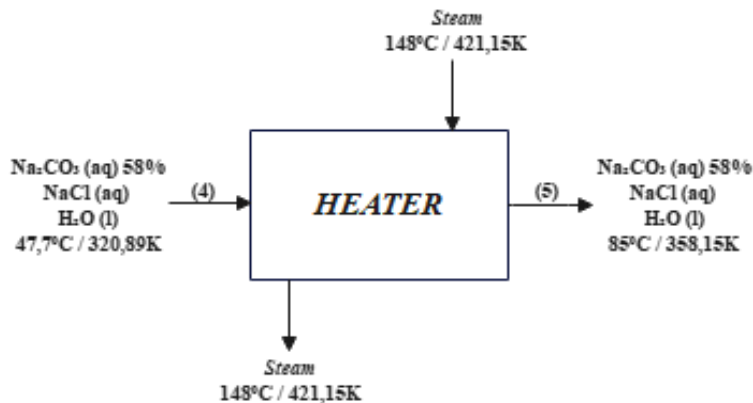
Suhu =  $85^\circ\text{C}$

Waktu proses = *Continue*



Perhitungan :

Diagram suhu :



#### 1. Neraca panas :

Dari neraca massa dan neraca panas diperoleh :

Berat bahan	=	6502,7837	kg/jam
	=	14336,2319	lb/jam
Panas yang dibutuhkan, Q	=	50542,5378	kcal/jam
	=	200435,1844	Btu/jam
W steam	=	89,9212	kg/jam
	=	198,2429	lb/jam

#### 2. Log Mean Temperature Diference

$t_1$	=	$48,62^\circ\text{C}$	=	$119,52^\circ\text{F}$
$t_2$	=	$85^\circ\text{C}$	=	$185,00^\circ\text{F}$
$T_1$	=	$148^\circ\text{C}$	=	$298,40^\circ\text{F}$
$T_2$	=	$148^\circ\text{C}$	=	$298,40^\circ\text{F}$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta t_1 &= T_2 - t_1 & \Delta t_2 &= T_1 - t_2 \\ &= 298,4 - 119,5 & &= 298,4 - 185,0 \\ &= 178,9 \text{ } ^\circ\text{F} & &= 113,4 \text{ } ^\circ\text{F}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{LMTD} &= \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \\ &= \frac{113,4 - 178,9}{\ln \frac{113,4}{178,9}} = 143,7 \text{ } ^\circ\text{F}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta t &= F_T \times \text{LMTD} \\ &= 1 \times 143,7 \\ &= 143,7 \text{ } ^\circ\text{F}\end{aligned}$$

### 3. $T_c$ dan $t_c$ dipakai temperatur rata-rata

$$\begin{aligned}T_c &= T_{av \text{ steam}} & t_c &= t_{av \text{ bahan}} \\ &= \frac{298,4 + 298,4}{2} & &= \frac{119,5 + 185,0}{2} \\ &= 298,4 \text{ } ^\circ\text{F} & &= 152,3 \text{ } ^\circ\text{F}\end{aligned}$$

Dipilih tipe : *1-2 Heat Exchanger*

Digunakan *shell and tube* dengan ukuran :

OD, BWG, pitch = 3/4 in, 16 BWG, 1-in square

Panjang Tube, L = 8 ft

**Berdasarkan Kern; T. 10 hal. 843**

ID = 0,620 in

$a'$  = 0,302 in<sup>2</sup>

$a''$  = 0,1963 ft<sup>2</sup>/ft panjang

*Hot Fluid* = *Steam*

*Cold Fluid* = Larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dimana  $\mu$  bahan kurang dari 2 Cp

Nilai  $U_D \text{ range} = 200\text{-}700 \text{ Btu/jam.ft}^2\text{ } ^\circ\text{F}$  (*Cold fluid = aqueous solution*)  
(**Kern Table 8 ; Page 840**)



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### **Trial :**

Untuk sistem *steam* dan *aqueous solution*

$$\text{Trial } U_D = 200 \text{ Btu/jam.ft}^2$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{\Delta t_{\text{LMTD}} \times U_D} \\ &= \frac{200435,1844 \text{ Btu/jam}}{143,7 \text{ }^\circ\text{F} \times 200 \text{ Btu/jam.ft}^2} \\ &= 6,976 \text{ ft}^2 \\ &= 0,6481 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A}{L \times a''} \\ &= \frac{6,9760 \text{ ft}^2}{8 \text{ ft} \times 0,1963 \text{ ft}} \\ &= 4 \end{aligned}$$

Asumsi 2 *tube passes*, dari tabel 9 pg 841 kern dipilih ukuran yang paling mendekati: 3/4" OD tubes on 1" square pitch

$$\text{ID shell} = 10 \text{ in}$$

$$\text{Passes} = 2$$

$$\text{Baffle Space} = 5$$

$$\mu \text{ Na}_2\text{CO}_3 = 0,0013 \text{ lb/ft det}$$

Koreksi koefisien  $U_D$

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 4,44 \times 8 \text{ ft} \times 0,196 \text{ ft} \\ &= 6,976 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{D t_{\text{LMTD}} \times A} \\ &= \frac{200435,1844 \text{ Btu/jam}}{143,7 \text{ }^\circ\text{F} \times 6,976 \text{ ft}^2} \\ &= 200 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<i>Hot Fluid : Tube side, steam</i>	<i>Cold Fluid: Shell Side, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>
<p><b>4. Flow Area</b></p> $a'_t = 0,302 \text{ in}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10 hal. 843)</i></p> $a_t = \frac{Nt \times a'_t}{144 \times n}$ $= \frac{4,44 \times 0,302 \text{ in}^2}{144 \times 2}$ $= 0,0047 \text{ ft}^2$	<p><b>4. Flow Area</b></p> $C' = P_T - \text{OD Tube}$ $= 1 \text{ in} - \frac{3}{4} \text{ in}$ $= \frac{1}{4} \text{ in}$ $a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 \times P_T}$ $= \frac{10 \times \frac{1}{4} \times 5}{144 \times 1}$ $= 0,0868$
<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_t = \frac{W_{\text{steam}}}{a_t}$ $= \frac{198,2429 \text{ lb/jam}}{0,0047 \text{ ft}^2}$ $= 42558,6209 \text{ lb/jam.ft}^2$	<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_s = \frac{W_{\text{bahan}}}{a_s}$ $= \frac{14336,2319 \text{ lb/jam}}{0,0868 \text{ ft}^2}$ $= 165153,3920 \text{ lb/jam.ft}^2$
<p><b>6. Reynold Number</b></p> $T_c = 298,4 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,013 \text{ cps}$ $= 0,0315 \text{ lb/jam ft}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 15)</i></p> $D_i = 0,620 \text{ in}$ $= 0,052 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10)</i></p> $Re_{t} = \frac{D \times G_t}{m}$ $= \frac{0,05 \text{ ft} \times 42558,6209 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}}{0,031 \text{ lb/ft hr}}$ $= 69893,8995$	<p><b>6. Reynold Number</b></p> $t_c = 152,26 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,55 \text{ cps}$ $= 1,3310 \text{ lb/ft hr}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 14)</i></p> $D_e = 0,950 \text{ in}$ $= 0,079 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p> $Re_{s} = \frac{D_e \times G_s}{m} \quad \text{(Kern; 7.3)}$ $= \frac{0,08 \text{ ft} \times 165153,3920 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}}{1,331 \text{ lb/ft hr}}$ $= 9823,1732$
	<p><b>7. Faktor Panas (<math>j_H</math>)</b></p> $j_H = 81 \text{ Btu/lb ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<i>Hot Fluid : Tube Side, Steam</i>	<i>Cold Fluid : Shell Side, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>
	<p><b>8. Mencari <math>(c\mu/k)^{1/3}</math></b>            Pada <math>t_c = 152,26</math> °F  <math>c_p = 0,90</math> Btu/lb.°F  <i>(Kern; F. 2)</i>  <math>k = 49</math> <math>\frac{\text{Btu}}{\text{j.ft.}^\circ\text{F}}</math> <i>(Kern; T. 4)</i></p> $(c\mu/k)^{1/3} = \frac{(\mu \times c)^{1/3}}{k^{1/3}}$ $= \frac{(1,3310 \times 0,90)^{1/3}}{(49)^{1/3}}$ $= 0,2938$
<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>            untuk <i>steam</i>  <math>h_{i_o} = 1500</math> Btu/hr ft<sup>2</sup> °F  <i>(Kern; pg. 164)</i></p>	<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>  <math>h_o = j_H \times (k/De) \times (c\mu/k)^{1/3} \times fs</math>  <math>h_o = 81 \times \frac{49}{0,08} \times 0,294</math>  <math>h_o = 14731,6984</math> Btu/hr ft<sup>2</sup> °F</p> <p>(10') <i>Corrected coefficient</i>  <math>h_o = \frac{h_o \cdot ID}{OD}</math>  <math>= 1104,877</math> Btu/hr.ft<sup>2</sup>.°F</p>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<b>PRESSURE DROP</b>	
<i>Hot Fluid : Tube side, steam</i>	<i>Cold Fluid: Shell Side, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>
<p>(1) Sg bahan: dari tabel 7 kern , spesifik volume pada suhu 298,4 °F = 6,655 ft<sup>3</sup>/lb <math>\rho = 1 \text{ lb} / 6,655 \text{ cuft}</math> = 0,1503 lb/ft<sup>3</sup> <math>sg = \frac{0,15}{62,5} = 0,0024</math> D = 0,8333 ft sg = 0,002 Ret = <math>\frac{Ds' \cdot Gt}{\mu}</math> = 69893,8995 f = 0,00145 ft<sup>2</sup>/in<sup>2</sup> <b>[Kern; Fig.29]</b></p> <p>(2) : <math>\Delta P_t = \frac{f \cdot Gt^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \times 10^{10} \times De \times s \times \phi t}</math> = 6,4805 Psi <math>\Delta P_t &lt; 10 \text{ psi}</math> (memenuhi untuk gas)</p>	<p>(1') Sg bahan: sg = 1,5424 f = 0,00026 ft<sup>2</sup>/in<sup>2</sup> <b>[Kern, Fig.26]</b> Res = 9823,1732 (N+1) = <math>\frac{12 \times L}{B}</math> = <math>\frac{12 \times 8}{5}</math> = 19,20</p> <p>(2') <math>DP_s = \frac{f Gs^2 De (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} De s f}</math> = 0,2698 <math>\Delta P_s &lt; 10 \text{ psi}</math> (memenuhi untuk liquid)</p>

### 13. Clean Overall Coefficient (Uc)

$$U_c = \frac{h_{i_o} \times h_o}{h_{i_o} + h_o}$$

$$= \frac{1500 \times 1104,877}{1500 + 1104,877}$$

$$U_c = 636,2357 \frac{\text{Btu}}{\text{jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

### 14. Dirt factor (Rd)

$$U_D = 200 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$

$$R_d = \frac{636,2357 - 200}{636,2357 \times 200}$$

$$R_d \text{ cal} = 0,0034 \frac{\text{jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}{\text{Btu}}$$

$$R_d \text{ required} = 0,003$$

0,003  $\approx$  0.003 untuk *heater steam*





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi :

Fungsi	= Untuk memanaskan $\text{Na}_2\text{CO}_3$ sampai suhu $85^\circ\text{C}$
Type	= <i>1-2 Shell and Tube Heat Exchanger (Fixed Tube)</i>
Dasar pemilihan	= Umum digunakan dan mempunyai <i>range</i> perpindahan panas yang besar
Tube	= OD = 3/4 in, 10 BWG Panjang = 8 ft Pitch = 1 in square pitch Nt = 4 buah passes = 2
Shell	= ID = 10 in passes = 1
Heat exchanger area, A	= 6,976 $\text{ft}^2$
Jumlah heat exchanger	= 1 buah



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 8. TANGKI H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (F - 110)

Fungsi = Menampung H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dari *supplier*

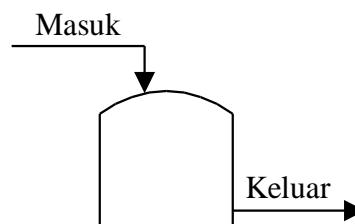
Type = Silinder tegak, tutup bawah datar dan tutup atas *torispherical*

Dasar pemilihan = Umum digunakan untuk liquid pada tekanan atmosfer

Kondisi operasi Tekanan operasi = 1 atm

Suhu operasi = 30 °C

Waktu tinggal = 3 hari



Komposisi Bahan :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	3476,3027	0,6500	1,8300
H <sub>2</sub> O	1871,8553	0,3500	1,0000
	5348,1580	1,0000	

$$\begin{aligned} \text{Densitas Campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ Komponen}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft} \\ &= \frac{1}{\frac{0,65}{1,83} + \frac{0,35}{1}} \times 62,43 \\ &= 88,5292 \text{ lb/cuft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 5348,1580 \text{ kg/jam} \\ &= 11790,7095 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{11790,7095 \text{ lb/jam}}{88,5292 \text{ lb/cuft}} \\ &= 133,1845 \text{ cuft/jam} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Direncanakan penyimpanan untuk 3 hari proses 3 buah tangki (untuk mempermudah pengeluaran dan pengisian), sehingga volume bahan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Volume Bahan} &= \frac{133,1845 \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 2 \text{ hari}}{3 \text{ tangki}} \\ &= 2130,9512 \text{ cuft} \end{aligned}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (untuk faktor keamanan)

Asumsi Volume Bahan = 80% volume tangki

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{2130,9512 \text{ cuft}}{80\%} \\ &= 2663,6890 \text{ cuft} \end{aligned}$$

### Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi *Dimension Ratio* H/D = 2 - 5 (*Ulrich : T.4-27*)

Dipilih H/D = 2

Volume Tangki =  $\frac{1}{4} \pi D^2 H$

$$V_s = \frac{1}{4} \times 3 \times D^2 \times 2D$$

$$V_s = 1,57 D^3$$

Dimana :

V tutup atas =  $0,000049 D_s^3$  (*Brownell & Young; hal 88*)

V tutup bawah =  $0,000049 D_s^3$

Jika diambil  $\alpha = 30^\circ$

Volume tangki =  $V_s + V \text{ tutup atas} + V \text{ tutup bawah}$

$$2663,6890 = 1,57 D^3 + 0,000049 D_s^3 + 0,000049 D_s^3$$

$$2663,6890 = 1,5701 D^3$$

$$1696,5113 = D^3$$

$$H = 2 D$$

$$D = 11,9267 \text{ ft} = 23,8533 \text{ ft}$$

$$= 143,1199 \text{ in} = 286,2399 \text{ in}$$

$$= 3,6352 \text{ m} = 7,2705 \text{ m}$$

H bahan = 80% H

$$= 80\% \times 23,8533 \text{ ft}$$

$$= 19,0827 \text{ ft}$$

$$= 9,6000 \text{ in}$$

$$= 5,8164 \text{ m}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Menentukan Tekanan Desain

$$\begin{aligned}P_{design} &= P_o - P_i + P_{hidrostatik} \\&= 14,70 - 14,70 + (\rho \cdot (H_{\text{bahan}} - 1)) / 144 \\&= 14,7 - 14,7 + 11,7318 \\&= 11,7318 \text{ psi}\end{aligned}$$

$P_{design}$  diambil 10% lebih besar dari  $P$  operasi untuk faktor keamanan

$$\begin{aligned}P_{design} &= 11,7318 \times 1,1 \\&= 12,9049\end{aligned}$$

### Menentukan Tebal Minimum Shell

Tebal *shell* berdasarkan ASME *code* untuk *cylindrical tank*

$$t_{s_{min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \quad [\text{Brownell, pers. 13-1, hal 254}]$$

Dimana :

- $t_{s_{min}}$  = tebal *shell* minimum (in)
- $P$  = tekanan tangki (psi)
- $r_i$  = jari-jari tangki (in,  $\frac{1}{2}D$ )
- $C$  = faktor korosi (in,  $\frac{1}{8}$  in)
- $E$  = faktor pengelasan (*double welded*, 0,8 )
- $f$  = *allowable stress*, bahan konstruksi *Carbon Steel SA-283 Grade C*  
maka,  $f = 12650$  psi [Brownell, T.13-11]

Asumsi tebal *shell* =  $\frac{4}{16}$  in

$$\begin{aligned}t_{s_{min}} &= \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \\ \frac{4}{16} \text{ in} &= \frac{12,9049 \text{ psi} \times (0,5 \times 143,120 \text{ in})}{f \cdot 0,8 - 7,7430 \text{ psi}} + \frac{1}{8} \text{ in} \\ \frac{2}{16} \text{ in} &= \frac{923,4761 \text{ psi in}}{f \cdot 0,8 - 7,7430 \text{ psi}} \\ f &= 9225,0828 \text{ psi}\end{aligned}$$

$f$  hitung lebih kecil dari pada  $f$  *allowable*, jadi tebal *shell*  $\frac{4}{16}$  **memenuhi**

### Menentukan Tebal tutup atas:

Tutup atas dipilih *torispherical*

$$\begin{aligned}OD &= ID + t_s \\&= 143,1199 + \frac{4}{16} \\&= 143,36995\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Berdasarkan *Brownell tabel 5.7 pg. 91*

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 156 \text{ in} \\ \text{tshell} &= 7/16 \text{ in} \\ \text{icr} &= 9 \frac{3}{8} \text{ in} \\ \text{rc} &= 144 \text{ in} \end{aligned}$$

karena icr lebih besar dari 6% rc maka digunakan *persamaan 7.77*

*Brownell & Young hal. 138*

$$t_h = \frac{P \times rc \times W}{2 f \cdot E - 0,2 P} + C$$

$$W = \frac{1}{4} ( 3 + \sqrt{rc / icr} )$$

Keterangan :

$t_h$  = tebal tutup (*head*) *shell* minimum (in)

$r_c$  = *radius of curfative* sama dengan diameter (in)

W = faktor stress intensif untuk *torispherical*

P = tekanan tangki (psia)

E = faktor pengelasan (*double welded butt joint*, 0,8 )

C = faktor korosi ( 0,25 in)

$f$  = *allowable stress*, bahan konstruksi *Carbon Steel SA-283 Grade C*

maka,  $f = 12650$  psi *[Brownell, T.13-11]*

Asumsi tebal *head* = 7/16 in

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{4} ( 3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} ) \\ &= \frac{1}{4} ( 3 + \sqrt{\frac{144}{9 \frac{3}{8}}} ) \\ &= 1,7298 \end{aligned}$$

$$t_h = \frac{P \times rc \times W}{2 f \cdot E - 0,2 P} + C$$

$$7/16 = \frac{12,9049 \times 144 \times 1,7298}{2 f \cdot 0,8 - 2 \times 12,9049} + 0,25$$

$$3/16 = \frac{3214,4958}{f \cdot 1,6 - 25,8099}$$

$$f = 10731,1173$$

$f$  hitung lebih kecil dari pada  $f$  *allowable*, jadi tebal *shell* 7/16 **memenuhi**

**Tinggi tutup *torispherical***

$$h = r - ( r^2 - ( \frac{D^2}{4} ) \times 0,5 ) \quad (\text{Hesse, hal 4-14})$$

$$= 144 - ( 144^2 - ( \frac{20.483,319}{4} ) \times 0,5 )$$

$$= 19,0393 \text{ in}$$

$$= 1,5866 \text{ ft} = 0,4836 \text{ m}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi

- Fungsi = Menampung asam fosfat dari supplier  
Type = Silinder tegak, tutup bawah datar dan tutup atas *torispherical*  
Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk *liquid* pada tekanan atmosfer

### Dimensi *shell*

- Diameter *shell inside* = 11,9267 ft = 0,9939 m  
Tinggi *shell* = 23,8533 ft = 1,9878 m  
Tebal *shell* = 4/16 in  
Tinggi total tangki = 25,4399 ft  
Tinggi tutup atas = 1,5866 ft  
Tebal tutup atas = 7/16  
Bahan konstruksi = *Carbon Steel SA-283 Grade C*  
Jumlah tangki = 3 buah

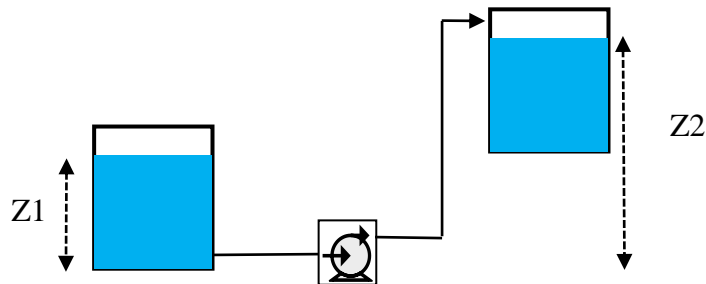


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 9. POMPA-1 (L-111)

- Fungsi = Memindahkan bahan dari Tangki Penampung H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ke *heater*  
 Type = *Centrifugal pump*  
 Dasar Pemilihan = Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid



Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	3476,3027	0,65	1,83
H <sub>2</sub> O	1871,8553	0,35	1
<b>Total</b>	<b>5348,1580</b>	<b>1</b>	

**Perhitungan :** (Asumsi = *viscous flow*)

Bahan Masuk = 5348,1580 kg/jam = 11790,7095 lb/jam

$\rho$  reference = 62,43 lb/cuft

$\rho$  bahan = 88,5292 lb/cuft = 1418,1013 kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{11790,7095 \text{ lb/jam}}{88,5292 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 133,1845 \text{ cuft/jam}$$

$$= 2,2197 \text{ cuft/menit}$$

$$= 16,6048 \text{ gpm}$$

$$= 0,0370 \text{ cuft/detik} = 0,0010 \text{ m}^3/\text{detik}$$

**Asumsi *viscous flow***

Di optimum untuk *viscous flow*, NRe < 2100 digunakan eq. (16) Peters:

$$D_i \text{ optimum} = 3 \times q_f^{0,36} \times \rho^{0,18}$$

Dengan  $q_f$  = *fluid flow rate* (cuft/dt)

$\rho$  = *fluid density* (lb/cuft)

$$Diameter \text{ optimum } (D_i) = 3 \times 0,305 \times 2,241$$

$$= 2,0518 \text{ in } [Peters, 4ed, pers 16 \text{ pg. } 496]$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Dipilih pipa 2 in sch 5S [Brownell, appendix K, pg. 387]

$$OD = 2,375 \text{ in}$$

$$ID = 2,245 \text{ in} = 0,19 \text{ ft} = 0,057 \text{ m}$$

$$A = 0,588 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan aliran, } v &= \frac{\text{Rate volumetrik cuft/menit}}{(\text{Area pipa} \times s) \text{ ft}^2 \times 60 \text{ detik}} \\ &= \frac{2,2197}{0,5880 \times 60} \\ &= 0,0629 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sg bahan} &= \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference (H}_2\text{O)}} \times \text{Sg reference} \\ &= \frac{88,5292}{62,4300} \times 1 \end{aligned}$$

$$\text{Sg bahan} = 1,4181$$

Berdasarkan Sg bahan

$$\mu \text{ reference} = 0,00085 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ bahan} &= \frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference (H}_2\text{O)}} \times \mu \text{ reference} \\ &= \frac{1,4181}{1} \times 0,00085 \end{aligned}$$

$$\mu \text{ bahan} = 0,0012 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} \text{NRe} &= \frac{ID \ v \ \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,19 \times 0,063 \times 88,53}{0,0012} \\ &= 864,5362 < 2100 \quad \text{Asumsi } \textit{viscous flow} \text{ BENAR} \end{aligned}$$

Dipilih pipa *commercial steel*

$$\varepsilon = 0,000046 \text{ m} \quad [\textit{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$\varepsilon/D = \frac{0,000046}{0,0570} = 0,0008$$

$$f = 0,0060 \quad [\textit{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$gc = 32,174$$

$$a = 0,5 \text{ (viscous flow)}$$

$$k = 0,4 \text{ A tangki} > \text{A pipa} \quad (\textit{Peters \& Timmerhause 4ed : 484})$$

Digunakan persamaan Bernoulli:

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 a gc} + \Sigma f$$

Perhitungan friksi berdasarkan *Peters, 4ed, Tabel 1 hal. 484*

$$\text{Taksiran panjang pipa lurus} = 40 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang ekuivalen suction, L} \quad (\textit{Peters 4ed; Tabel 1})$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

- 2 *Elbow* 90° = 2 × 32 × (ID = 0,187 ft) = 11,973 ft
  - 1 *Globe valve* = 1 × 300 × (ID = 0,187 ft) = 56,125 ft
  - 1 *Gate valve* = 1 × 7 × (ID = 0,187 ft) = 1,3096 ft
- Panjang total pipa, Le = 109,4079 ft

### Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$f_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0,006 \times 0,063^2 \times 109,408}{32,174 \times 0,1871}$$

$$= 0,0009 \text{ ft.lbf / lbm}$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$A_1 = \text{luas penampang tangki} = 111,66 \text{ ft}^2$$

$$A_2 = \text{luas penampang pipa} = 0,5880 \text{ ft}^2$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{0,5880}{111,66} = 0,0053 \quad A \text{ tangki} > A \text{ pipa}$$

$$\alpha = 0,5 \text{ (untuk } viscous \text{ flow) (Peters 4ed, Tabel 1 hal 484)}$$

$$K_c = 0,4 (1,25 - A_2/A_1)$$

$$= 0,5$$

$$f_2 = \frac{K_c \times v^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad (\text{Peters 4ed, Tabel 1 hal 484})$$

$$= \frac{0,5 \times 0,063^2}{2 \times 1 \times 32,2}$$

$$= 6,126E-05 \text{ ft.lbf / lbm}$$

3. Friksi karena *enlargement* (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$f_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0)$$

$$= \frac{0,063^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,2}$$

$$= 0,0001 \text{ ft.lbf / lbm}$$

4. Friksi karena *elbow* 90°

$$f_4 = k_f \times \frac{v^2}{2} \quad (\text{Geankoplis 3}^{ed}, \text{ pers. 2.10-17 hal 94})$$

$$k_f = 0,85$$

$$= 0,85 \times \frac{0,063^2}{2} \quad (\text{Geankoplis 3}^{ed}, \text{ Tabel 2.10-1 hal 93})$$

$$= 0,0017 \text{ ft.lbf / lbm}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 5. Friksi karena *gate valve*

$$\begin{aligned}f_5 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \\&= 0,17 \times \frac{0,063^2}{2} \\&= 0,0003 \text{ ft.lbf / lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma f &= f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \\&= 0,003 \text{ ft.lbf / lbm}\end{aligned}$$

$$1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi} \times 144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 = 2116,8 \text{ lbf}/\text{ft}^2$$

$$P_1 = P \text{ hidrostatik}$$

$$\text{Tinggi bahan, H} = 19,0827 \text{ ft}$$

$$\rho \text{ bahan} = 88,5292 \text{ lb}/\text{cuft}$$

$$\begin{aligned}P \text{ hidrostatik} &= \rho \times g/g_c \times H \\&= 88,529 \text{ lb}/\text{cuft} \times 1 \times 19,083 \text{ ft} \\&= 1689,3721 \text{ lb}/\text{ft}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_1 &= 1689,3721 \text{ lb}/\text{ft}^2 + 2116,8 \text{ lb}/\text{ft}^2 \\&= 3806,1721 \text{ lb}/\text{ft}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_2 - P_1 \\&= 2116,8 - 3806,2 \text{ lb}/\text{ft}^2 \\&= 1689,4 \text{ lb}/\text{ft}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P}{\rho} &= \frac{1689,4}{88,53} \\&= 19,083 \frac{\text{lb}/\text{ft}^2}{\text{lbm}/\text{ft}^3} \\&= 19,083 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}\end{aligned}$$

Berdasarkan H Reaktor

$$\text{Asumsi : } Z_2 = H \text{ liq reaktor} = 20,151 \text{ ft}$$

$$Z_1 = H \text{ liq tangki penyimpanan} = 19,0827 \text{ ft}$$

$$g/g_c = 1 \text{ lbf}/\text{lbm}$$

$$g, \text{ percepatan gravitasi bumi} = 32,2 \text{ ft}/\text{dt}^2$$

$$g_c, \text{ konstanta gravitasi bumi} = 32,2 \text{ ft}/\text{dt}^2 \times \text{lbm}/\text{lbf}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times g_c} &= \frac{0,0629^2 - 0^2}{2 \times 0,5 \times 32,2} \\&= 0,0001 \text{ ft.lbf / lbm}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\Delta Z \frac{g}{gc} &= (Z_2 - Z_1) \times g/gc \\ &= (20,151 - 19,083) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf} \\ &= 1,068 \frac{ft.lbf}{lbm}\end{aligned}$$

### Persamaan Bernoulli

$$\begin{aligned}-W_f &= \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F \\ &= 19,1 + 1,068 + 0,0001 + 0,003 \\ &= 20,154 \frac{ft.lbf}{lbm}\end{aligned}$$

Sg campuran (Himmelblau : berdasarkan Sg bahan)

Rate volumetrik = 16,605 gpm

$$\begin{aligned}hp &= \frac{-W_f \times \text{flowrate (gpm)} \times sg}{3960} \quad [Perry 6ed, pers.6-11 pg. 6-5] \\ &= \frac{20,154 \times 16,605 \times 1,4181}{3960} \\ &= 0,1198 \text{ hp}\end{aligned}$$

Efisiensi pompa = 50% (*Peters 4ed, fig.14-37 pg. 520*)

$$\begin{aligned}Bhp &= \frac{hp}{\eta \text{ pompa}} \\ &= \frac{0,1198}{50\%} \\ &= 0,24 \text{ hp}\end{aligned}$$

Efisiensi motor = 84% (*Peters 4ed, fig.14-38 pg. 521*)

$$\begin{aligned}Power \text{ motor} &= \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,24}{84\%} \\ &= 0,29 \text{ hp} \\ \text{digunakan power} &= 0,286 \text{ hp}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

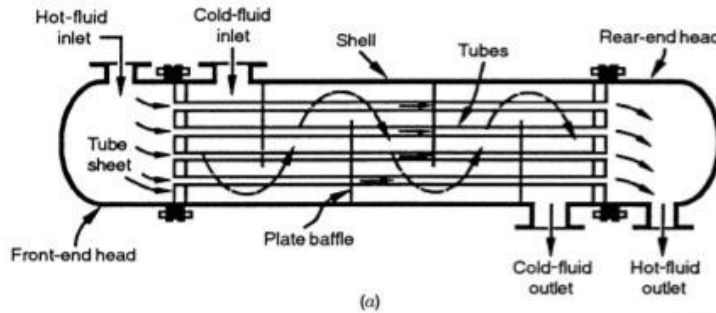
“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi:

Fungsi	=	memindahkan bahan dari tangki pengampungan $H_3PO_4$ ke <i>heater</i>
Type	=	<i>Centrifugal pump</i>
Dasar pemilihan	=	Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	=	11790,7095 lb/jam
Kecepatan aliran	=	0,0629 ft/detik
Rate volumetrik	=	16,6048 gpm
Total <i>dynamic head</i>	=	20,1537 ft.lbf/lbm
Effisiensi motor	=	84%
<i>Power motor</i>	=	0,3 hp
Bahan konstruksi	=	<i>Commercial Steel</i>
Jumlah	=	1 Buah

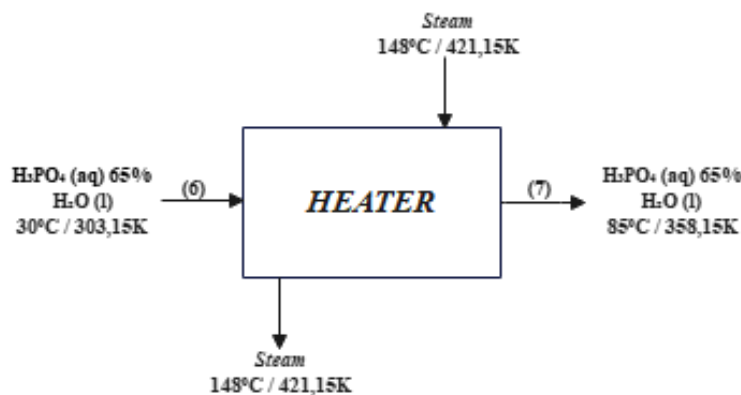
**10. HEATER -1 (E - 112)**



- Fungsi = Memanaskan  $H_3PO_4$  dari suhu  $30^\circ C$  menjadi  $85^\circ C$  untuk dialirkan ke Reaktor
- Tipe = *1-2 Shell and Tube Heat Exchanger (Fixed Tube)*
- Dasar Pemilihan = Umum digunakan pada *range* perpindahan panas
- Kondisi Operasi Tekanan = 1 atm
- Suhu =  $85^\circ C$
- Waktu proses = *Continue*

Perhitungan :

**Diagram suhu :**



**1. Neraca panas :**

Dari neraca massa dan neraca panas diperoleh :

- |                          |   |             |          |
|--------------------------|---|-------------|----------|
| Berat bahan              | = | 5348,1580   | kg/jam   |
|                          | = | 11790,7095  | lb/jam   |
| Panas yang dibutuhkan, Q | = | 181188,7880 | kcal/jam |
|                          | = | 718535,5087 | Btu/jam  |
| W steam                  | = | 322,3564    | kg/jam   |
|                          | = | 710,6765    | lb/jam   |



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 2. Log Mean Temperature Difference

Temperatur  $H_3PO_4$

$$t_1 = 30,0 \text{ } ^\circ\text{C} = 86,0 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 85 \text{ } ^\circ\text{C} = 185,0 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Temperatur *steam*

$$T_1 = 148 \text{ } ^\circ\text{C} = 298,4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 148 \text{ } ^\circ\text{C} = 298,4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned} \Delta t_1 &= T_2 - t_1 \\ &= 298,4 - 86,0 \\ &= 212,4 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta t_2 &= T_1 - t_2 \\ &= 298,4 - 185,0 \\ &= 113,4 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LMTD} &= \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \\ &= \frac{113,4 - 212,4}{\ln \frac{113,4}{212,4}} = 157,8 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Dt &= F_T \times \text{LMTD} \\ &= 1 \times 157,8 \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 157,8 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

### 3. $T_c$ dan $t_c$ dipakai temperatur rata-rata

$$\begin{aligned} T_c &= T_{\text{av steam}} & t_c &= t_{\text{av bahan}} \\ &= \frac{298,4 + 298,4}{2} & &= \frac{86,0 + 185,0}{2} \\ &= 298,4 \text{ } ^\circ\text{F} & &= 135,5 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dipilih tipe : 1-2 *Heat Exchanger*

Digunakan *shell and tube* dengan ukuran :

OD, BWG, *pitch* = 3/4 in, 16 BWG, 1-in square

Panjang *Tube*, L = 7 ft

Berdasarkan *Kern; T. 10 pg. 843*

$$\text{ID} = 0,620 \text{ in}$$

$$a't = 0,302 \text{ in}^2$$

$$a'' = 0,1963 \text{ ft}^2/\text{ft panjang}$$

*Hot Fluid* = *Steam*

*Cold Fluid* = Larutan  $H_3PO_4$  dimana  $\mu$  bahan kurang dari 2 cp

Nilai  $U_D$  range = 200 -700 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F (*Cold fluid = aqueous solution*)

(*Kern Table 8 ; Page 840*)



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### **Trial :**

Untuk sistem *steam* dan *aqueous solution*

$$\text{Trial } U_D = 200 \text{ Btu/j.ft}^2$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{D_{t_{LMTD}} \times U_D} \\ &= \frac{718535,5087 \text{ Btu/jam}}{157,8 \text{ }^\circ\text{F} \times 200 \text{ Btu/j.ft}^2} \\ &= 22,774 \text{ ft}^2 \\ &= 2,1157 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A}{L \times a''} \\ &= \frac{22,7736 \text{ ft}^2}{7 \text{ ft} \times 0,1963 \text{ ft}} \\ &= 16,6 \end{aligned}$$

Asumsi 2 *tube passes*, dari tabel 9 kern pg 841 dipilih ukuran yang paling mendekati: 3/4" OD tubes on 1" square pitch

$$\text{ID shell} = 10 \text{ in}$$

$$\text{Passes} = 2$$

$$\text{Baffle Space} = 5$$

Koreksi koefisien  $U_D$

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 16,6 \times 7 \text{ ft} \times 0,196 \text{ ft} \\ &= 22,77358 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{D_{t_{LMTD}} \times A} \\ &= \frac{718535,5087 \text{ Btu/jam}}{157,8 \text{ }^\circ\text{F} \times 22,774 \text{ ft}^2} \\ &= 200 \text{ Btu/j.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<i>Hot Fluid : Tube side, steam</i>	<i>Cold Fluid: Shell Side, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></i>
<p><b>4. Flow Area</b></p> $a't = 0,302 \text{ in}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10 hal. 843)</i></p> $a_t = \frac{N_t \times a't}{144 \times n}$ $= \frac{16,6 \times 0,302 \text{ in}^2}{144 \times 2}$ $= 0,0174 \text{ ft}^2$	<p><b>4. Flow Area</b></p> $C' = P_T - \text{OD Tube}$ $= 1 \text{ in} - \frac{3}{4} \text{ in}$ $= \frac{1}{4} \text{ in}$ $a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 \times P_T}$ $= \frac{10 \times \frac{1}{4} \times 5}{144 \times 1}$ $= 0,0868$
<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_t = \frac{W_{\text{steam}}}{a_t}$ $= \frac{710,676 \text{ lb/jam}}{0,0174 \text{ ft}^2}$ $= 40892,5817 \text{ lb/jam.ft}^2$	<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_s = \frac{W_{\text{bahan}}}{a_s}$ $= \frac{11790,7095 \text{ lb/jam}}{0,0868 \text{ ft}^2}$ $= 135828,9740 \text{ lb/jam.ft}^2$
<p><b>6. Reynold Number</b></p> $T_c = 298,40 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,0140 \text{ cps}$ $= 0,0339 \text{ lb/jam ft}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 15)</i></p> $D_i = 0,620 \text{ in}$ $= 0,052 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10)</i></p> $Re_{t} = \frac{D \times G_t}{m}$ $= \frac{0,05 \text{ ft} \times 40892,5817 \frac{\text{lb}}{\text{hr.ft}^2}}{0,034 \text{ lb/ft hr}}$ $= 62360,7847$	<p><b>6. Reynold Number</b></p> $t_c = 135,50 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,75 \text{ cps}$ $= 1,8150 \text{ lb/ft hr}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 14)</i></p> $D_e = 0,950 \text{ in}$ $= 0,079 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p> $Re_{s} = \frac{D \times G_s}{m}$ $= \frac{0,08 \text{ ft} \times 135828,9740 \frac{\text{lb}}{\text{hr.ft}^2}}{1,815 \text{ lb/ft hr}}$ $= 5924,5879$
	<p><b>7. Faktor Panas (j<sub>H</sub>)</b></p> $j_H = 48 \text{ Btu/lb ft}^2\text{ }^\circ\text{F}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p>





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<i>Hot Fluid : Tube Side, Steam</i>	<i>Cold Fluid : Shell Side, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></i>
<p><b>9. Mencari h<sub>o</sub></b> untuk <i>steam</i> h<sub>io</sub> = 1500 Btu/hr ft<sup>2</sup>F (Kern; 164)</p>	<p><b>8. Mencari (cμ/k)<sup>1/3</sup></b> Pada t<sub>c</sub> = 135,50 °F c = 0,90 Btu/lb.°F (Kern; F. 2) k = 49 <math>\frac{\text{Btu}}{\text{j.ft.}^\circ\text{F}}</math> (cμ/k)<sup>1/3</sup> = <math>\frac{(\mu \times c)^{1/3}}{k^{1/3}}</math> = <math>\frac{(1,8150 \times 0,90)^{1/3}}{(49)^{1/3}}</math> = 0,3255</p> <p><b>9. Mencari h<sub>o</sub></b> h<sub>o</sub> = j<sub>H</sub> × (k/D<sub>e</sub>) × (cμ/k)<sup>1/3</sup> × f<sub>s</sub> <math>\frac{h_o}{f_s} = 48 \times \frac{49}{0,08} \times 0,3255</math> h<sub>o</sub> = 9670,7369 Btu/hr ft<sup>2</sup>F</p> <p>(11') <i>Corrected coefficient</i> h<sub>o</sub> = <math>\frac{h_o \cdot ID}{OD}</math> = 725,3053 Btu/hr.ft<sup>2</sup>F</p>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<b>PRESSURE DROP</b>	
<i>Hot Fluid : Tube side, steam</i>	<i>Cold Fluid: Shell Side, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></i>
<p>(1) Sg bahan: dari tabel 7 kern , spesifik volume pada suhu 298,4 °F = 6,655 ft<sup>3</sup>/lb <math>\rho = 1 \text{ lb} / 6,655 \text{ cuft}</math> = 0,1503 lb/ft<sup>3</sup> <math>sg = \frac{0,15}{62,5} = 0,0024</math> D = 0,8333 ft sg = 0,002 Ret = <math>\frac{Ds' \cdot Gt}{\mu}</math> = 62360,7847 f = 0,00016 ft<sup>2</sup>/in<sup>2</sup> <b>[Kern; Fig.26]</b></p> <p>(2) : <math>\Delta Pt = \frac{f \cdot Gt^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \times 10^{10} \times De \times s \times \phi t}</math> = 0,5777 psi <math>\Delta Pt &lt; 10 \text{ psi}</math> (memenuhi untuk gas)</p>	<p>(1') Sg bahan: sg = 1,4181 f = 0,0023 ft<sup>2</sup>/in<sup>2</sup> <b>[Fig.26]</b> Res = 5.924,588 (N+1) = <math>\frac{12 \times L}{B}</math> = <math>\frac{12 \times 7}{5}</math> = 16,80</p> <p>(2') DPs = <math>\frac{f Gs^2 De (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} De s f}</math> = 0,1217 psi <math>\Delta Ps &lt; 10 \text{ psi}</math> (memenuhi untuk liquid)</p>

### 13. Clean Overall Coefficient (Uc)

$$U_c = \frac{h_{i0} \times h_o}{h_{i0} + h_o}$$

$$= \frac{1500 \times 725,3053}{1500 + 725,3053}$$

$$U_c = 488,9028 \frac{\text{Btu}}{\text{j.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

### 14. Dirt factor (Rd)

$$U_D = 200 \text{ Btu/j.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$

$$R_d = \frac{488,903 - 200}{488,903 \times 200}$$

$$R_d = 0,003 \frac{\text{j.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}{\text{Btu}}$$

0,003  $\approx$  0.003 untuk *heater steam*



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi :

Fungsi	= Untuk memanaskan $H_3PO_4$ sampai suhu $85^\circ C$
Tipe	= <i>1-2 Shell and Tube Heat Exchanger (Fixed Tube)</i>
Dasar pemilihan	= Umum digunakan dan mempunyai <i>range</i> perpindahan panas yang besar
<i>Tube</i>	= OD = 3/4 in, 10 BWG Panjang = 7 ft <i>Pitch</i> = 1 in <i>square pitch</i> Nt = 22,8 buah <i>passes</i> = 2
<i>Shell</i>	= ID = 0,08 in <i>passes</i> = 0,62
<i>Heat exchanger area</i>	= 22,774 ft <sup>2</sup>
Jumlah <i>heat exchanger</i>	= 1 buah



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 11. REAKTOR (R-210)

Reaktor yang digunakan menggunakan reaktor tangki berpengaduk (CSTR) dengan menggunakan jaket pendingin dikarenakan beberapa alasan sebagai

1. Reaksi yang terjadi adalah reaksi dalam fase cair-cair
2. Reaksi yang terjadi secara eksotermis sehingga membutuhkan jaket pendingin
3. Reaksi berjalan secara kontinu

Pada Reaktor Alir Tangki Berpengaduk, karena volume reaktor relatif besar dibandingkan dengan Reaktor Alir Pipa, maka waktu tinggal juga besar, berarti zat pereaksi dapat lebih lama bereaksi di dalam reaktor.

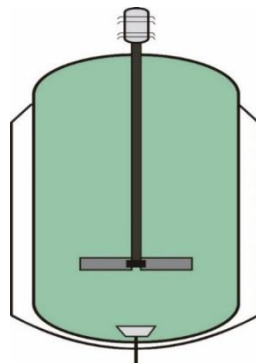
Fungsi = Mereaksikan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  menjadi  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$

Type = Reaktor *Mix Flow* yang dilengkapi dengan pengaduk dan jaket pendingin

Kondisi operasi Tekanan Operasi = 1 atm

Suhu operasi = 85 °C

Waktu tinggal = 1 jam



Feed Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	3950,7662	0,3019	2,5330
NaCl	7,5659	0,0006	2,1630
$\text{H}_3\text{PO}_4$	3476,3027	0,2657	1,8300
$\text{H}_2\text{O}$	5558,4671	0,4248	1,0000
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	91,3728	0,0070	1,5200
<b>Total</b>	13084,4747	1,0000	

0,6470	0,4085	27,5097
63,4060	0,0066	
3412,8967	0,0008	
9671,5780	0,5747	
	0,0094	



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \rho \text{ campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \times 62,4 \text{ lb/cuft} \\ &= \frac{1}{\frac{0,3019}{2,533} + \frac{0,0006}{2,163} + \frac{0,2657}{1,8300} + \frac{0,4248}{1} + \frac{0,0070}{1,52}} \\ &\quad \times 62,43 \text{ lb/cuft} \\ &= 89,9489 \text{ lb/cuft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 13084,4747 \text{ kg/jam} && 9671,5780 \\ &= 28846,4255 \text{ lb/jam} && 21322,25107 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} && t = \frac{400,8722}{320,6978} = 1,25 \text{ jam} \\ &= \frac{28846,4255 \text{ lb/jam}}{89,9489 \text{ lb/cuft}} \\ &= 320,6978 \text{ cuft/jam} \end{aligned}$$

### Tahap-tahap Perencanaan

- A. Perencanaan Dimensi Reaktor
- B. Perencanaan Sistem Pengaduk
- C. Perencanaan Sistem Pendingin

#### A Perencanaan Dimensi Reaktor

Digunakan 1 tangki untuk 1 jam proses, maka volume bahan:

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan} &= 320,6978 \text{ cuft/jam} \times 1 \text{ jam} \\ &= 320,6978 \text{ cuft} \end{aligned}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (untuk faktor keamanan)

Asumsi Volume Bahan = 80% volume tangki

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{320,6978 \text{ cuft}}{80\%} \\ &= 400,8722 \text{ cuft} \end{aligned}$$

#### Menentukan Dimensi Reaktor

Asumsi *Dimention Ratio*  $H/D = 2 - 5$  (*Ulrich : T.4-27*)

Dipilih  $H/D = 2$

Volume Tangki =  $1/4 \pi D^2 H$

$$V_s = 1/4 \times 3 \times D^2 \times 2 D$$

$$V_s = 1,57 D^3$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Dimana

$$V \text{ tutup atas} = 0,000049 D_s^3 \quad (\text{Brownell \& Young; hal 88})$$

$$V \text{ tutup bawah} = 0,000049 D_s^3$$

$$\text{Jika diambil } \alpha = 30^\circ$$

$$\text{Volume tangki} = V_s + V \text{ tutup atas} + V \text{ tutup bawah}$$

$$400,8722 = 1,57 D^3 + (2 \times 0,000049 D_s^3)$$

$$400,8722 = 1,5701 D^3$$

$$255,3167 = D^3 \qquad H = 2 D$$

$$D = 6,3439 \text{ ft} = 12,6879 \text{ ft}$$

$$= 76,1274 \text{ in} = 152,2548 \text{ in}$$

$$= 1,9336 \text{ m} = 3,8673 \text{ m}$$

### Menentukan tinggi *liquid* dalam *shell*

$$V \text{ liquid} = V_s + V \text{ tutup bawah}$$

$$320,6978 = 1/4 \pi \times D_s^2 \times H_s + 0,000049 D_s^3$$

$$320,6978 = 0,79 \times 40,2457 \times h + 0,0125$$

$$320,6853 = 31,593 h$$

$$h \text{ bahan} = 10,151 \text{ ft} = 3,0939 \text{ m}$$

### Menentukan Tekanan Desain

$$P \text{ design} = P_o - p_i + P_{\text{hidrostatik}}$$

$$= P_o - p_i + \rho \cdot H_{\text{bahan}}$$

$$= 14,696 - 14,696 + 6,3405$$

$$= 6,3405 \text{ psi}$$

### Menentukan Tebal Minimum Shell

$P \text{ design}$  diambil 10% lebih besar dari  $P \text{ operasi}$  untuk faktor keamanan

$$P \text{ design} = 6,3405 \times 1,1$$

$$= 6,9745$$

Tebal *shell* berdasarkan ASME *code* untuk *cylindrical tank* :

$$t_{s_{\min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \quad [\text{Brownell, pers. 13-1, hal 254}]$$

Dimana :

$$t_{s_{\min}} = \text{tebal shell minimum (in)}$$

$$P = \text{tekanan tangki (psi)}$$

$$r_i = \text{jari-jari tangki (in, } 1/2 D)$$

$$C = \text{faktor korosi (in, } 1/8 \text{ in)}$$

$$E = \text{faktor pengelasan (double welded, } 0,8)$$

$$f = \text{allowable stress, bahan konstruksi Carbon Steel SA-283 Grade C}$$

$$\text{maka, } f = 12650 \text{ psi} \quad [\text{Brownell, T.13-11}]$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Asumsi tebal *shell* = 3/16 in

$$t_{\text{min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C$$

$$3/16 \text{ in} = \frac{6,3405 \text{ psi} \times (0,5 \times 76,1274 \text{ in})}{f \cdot 0,8 - 3,8043 \text{ psi}} + 1/8 \text{ in}$$

$$1/16 \text{ in} = \frac{241,34285 \text{ psi in}}{f \cdot 0,8 - 3,8043 \text{ psi}}$$

$$f = 4822,1016 \text{ psi}$$

$f$  hitung lebih kecil dari pada  $f$  allowable, jadi tebal *shell* 3/16 **memenuhi**

### Menentukan Tebal tutup atas dan bawah:

Menentukan jenis dan ukuran *head* dan *bottom mixer*

Pertimbangan yang dilakukan dan pemilihan jenis *head* meliputi :

» *Flanged and standard dished head*

Umumnya digunakan untuk *vessel* proses vertikal tekanan operasi rendah, harganya murah, digunakan untuk tangki penyimpanan horizontal, dan untuk tangki yang diameter-nya kecil

» *Torispherical flanged and dished head*

Digunakan untuk tekanan operasi dalam rentang 15 psig (1.002 atm) sampai 200 psig (13.6092 atm), harganya ekonomis

» *Elliptical dished head*

Digunakan untuk tekanan operasi tinggi diatas 200 psig, harganya relatif mahal.

» *Hemispherical dished head*

Digunakan untuk tekanan operasi sangat tinggi, kuat, dan ukuran yang tersedia sangat terbatas.

(*Brownel n Young 1959 hal 88*)

Dari pertimbangan-pertimbangan di atas dan tekanan operasi perancangan yang dibuat, maka dipilih : ***Torispherical dished head***

### Menentukan Tebal tutup atas dan bawah:

Tutup atas dan bawah dipilih *torispherical*

$$\begin{aligned} \text{OD} &= \text{ID} + 2 t_s \\ &= 76,1274 + 2 \cdot 3/16 \\ &= 76,5024 \end{aligned}$$

Berdasarkan ***Brownell tabel 5.7 pg.90***

$$\text{OD} = 84 \text{ in}$$

$$t_{\text{shell}} = 5/16 \text{ in}$$

$$\text{icr} = 5 \frac{1}{8} \text{ in}$$

$$\text{rc} = 84 \text{ in}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

karena icr lebih besar dari 6% rc maka digunakan *persamaan 7.77*

**Brownell & Young hal. 138**

$$t_h = \frac{P \times rc \times W}{2 f \cdot E - 0,2 P} + C$$

$$W = \frac{1}{4} ( 3 + \sqrt{rc / icr} )$$

Keterangan :

$t_h$  = tebal tutup (*head*) *shell* minimum (in)

$r_c$  = *radius of curfative* sama dengan diameter (in)

W = faktor stress intensif untuk *torispherical*

P = tekanan tangki (psia)

E = faktor pengelasan (*double welded butt joint*, 0,8 )

C = faktor korosi ( 0,25 in)

f = *allowable stress*, bahan konstruksi *Carbon Steel SA-283 Grade C*

maka, f = 12650 psi **[Brownell, T.13-11]**

Asumsi tebal *head* = 5/16 in

$$W = \frac{1}{4} ( 3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} )$$

$$= \frac{1}{4} ( 3 + \sqrt{\frac{84}{5 \ 1/8}} )$$

$$= 1,7621$$

$$t_h = \frac{P \times rc \times W}{2 f \cdot E - 0,2 P} + C$$

$$5/16 = \frac{6,3405 \times 84 \times 1,7621}{2 f \ 0,8 - 2 \times 6,3405} + 0,25$$

$$1/16 = \frac{938,5094}{f \ 1,6 - 12,6810}$$

$$f = 9393,0196$$

f hitung lebih kecil dari pada *f allowable*, jadi tebal *shell* 5/16 **memenuhi**

**Tinggi tutup *torispherical***

$$h = r - ( r^2 - ( \frac{D^2}{4} ) 0,5 ) \text{ (Hesse, hal 4-14)}$$

$$= 84 - ( 84^2 - ( \frac{76,5024}{4} ) 0,5 )$$

$$= 0,1139 \text{ in}$$

$$= 0,0095 \text{ ft}$$

$$= 0,0029 \text{ m}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### B. Perencanaan Sistem Pengaduk

Jumlah *Baffle* = 4 buah

Jumlah *Impeller* (Pengaduk) antara 4 - 16, tetapi umumnya 6 atau 8

Dipilih pengaduk *type flat blade turbine* dengan jumlah *blade* = 6

#### 1. Penentuan Dimensi Pengaduk

Tinggi bahan tota  $H_L = 10,1506 \text{ ft} = 121,8067 \text{ in}$

Diameter dalam  $D_t = 6,3439 \text{ ft} = 76,1274 \text{ in}$

Ukuran pengaduk diambil dari Mc. Cabe ed 7th, hal 247

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \quad \frac{H}{D_t} = 1$$

Keterangan :

$D_a$  = Diameter *impeller* (pengaduk)

$D_t$  = Diameter tangki

$L$  = Panjang *blade*

$W$  = Lebar *blade*

$E$  = Jarak *impeller* (pengaduk) dari dasar tangki

$J$  = Lebar *baffle*

$$\begin{aligned} \text{Diameter } \textit{impeller} \text{ (} D_a \text{)} &= 1/3 D_t &= 0,333 \times 6,3439 \\ & &= 2,1125 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar } \textit{blade} \text{ (} W \text{)} &= 1/5 D_a &= 0,2 \times 2,1125 \\ & &= 0,4225 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang } \textit{blade} \text{ (} L \text{)} &= 1/4 D_a &= 0,25 \times 2,1125 \\ & &= 0,5281 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak } \textit{impeller} \text{ dari dasar (} E \text{)} &= 1/3 D_t &= 0,333 \times 6,3439 \\ & &= 2,1125 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar } \textit{baffle} \text{ (} J \text{)} &= 1/12 D_t &= 0,083 \times 6,3439 \\ & &= 0,5265 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal pengaduk} & &= \frac{1}{10} \times 0,5281 \\ & &= 0,0528 \text{ ft} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 2. Penentuan Jumlah Pengaduk

$$\text{Jumlah } \underset{\text{impeller}}{=} = \frac{\text{tinggi liquid} \times \text{Sg}}{\text{Diameter tangki}} \quad (\text{Joshi : 415})$$

$$\text{Sg} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference (H}_2\text{O)}}$$

$$\text{Sg} = \frac{89,9489}{62,4}$$

$$\text{sg} = 1,4415$$

Maka :

$$\text{Jumlah } \underset{\text{impeller}}{=} = \frac{\text{tinggi liquid} \times \text{Sg}}{\text{Diameter tangki}}$$

$$= \frac{121,8067 \times 1,4415}{76,1274}$$

$$= 2,3064 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak Pengaduk} = 1,5 \times \text{Da}$$

$$= 1,5 \times 2,1125$$

$$= 3,1688 \text{ ft} \approx 3 \text{ ft}$$

### 3. Penentuan Power Motor

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan} \times \mu \text{ reference}}{\text{sg reference}}$$

$$= \frac{1,4415 \times 0,00085}{0,996}$$

$$= 0,001230 \text{ lb/ft s (berdasarkan sg bahan)}$$

$$V = \pi \times \text{Da} \times N \quad (\text{Dean : 389})$$

dengan:  $V = \text{peripheral speed}$  (m/menit)

untuk pengaduk jenis turbin

$$V = 200 - 250 \text{ m/menit}$$

$$\text{Da} = \text{diameter pengaduk (m)}$$

$$N = \text{putaran pengaduk (rpm)}$$

$$\text{Dipilih putaran pengaduk, } N = 100 \text{ rpm} = 1,67 \text{ rps}$$

$$\text{Da} = 2,1125 \text{ ft}$$

$$= 0,6439 \text{ m}$$

$$V = \pi \times \text{Da} \times N$$

$$= 3,14 \times 0,6439 \times 100$$

$$= 202,1848 \text{ m/menit} \quad (\text{memenuhi range 200 - 250 m/menit})$$

Bilangan Reynold,  $N_{Re}$  :

$$N_{Re} = \frac{\rho \times \text{Da}^2 \times N}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{89,949 \times 4,463 \times 1,67}{0,001230}$$

$$N_{Re} = 543853,1900 > 2100$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Untuk  $NRe > 2100$  diperlukan 4 buah *baffle* sudut  $90^\circ$ .

[Perry 8ed : 18-13]

Power pengaduk:

Untuk  $NRe > 10.000$  perhitungan *power* menggunakan persamaan berikut.

$$P = \frac{K_3}{g} \rho (N)^3 (Da)^5 \quad [\text{Ludwig, vol-1, pers 5.5 : 299}]$$

Keterangan :

P	=	<i>power</i>	(hp)
$K_3$	=	faktor <i>mixer</i> (turbin)	6,3 [Ludwig, vol-1 T.5-1 : 301]
g	=	konstanta gravitasi	32,3 ft/dt <sup>2</sup> × lbf/lbm
$\rho$	=	densitas	(lb/cuft)
N	=	kecepatan putaran <i>impeller</i>	(rps)
Da	=	diameter <i>impeller</i>	(ft)

$$P = \frac{6,3}{32,3} \times 89,9489 \times 4,63 \times 42,0746$$

$$P = 3417,4342 \text{ lb.ft/dt}$$
$$= 6,2135 \text{ hp}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } 2 \text{ impeller, maka power input} &= 2 \times 6,21 \\ &= 14,3311 \text{ hp} \end{aligned}$$

### Perhitungan losses pengaduk:

$$\begin{aligned} \text{Gland losses (kebocoran tenaga akibat poros dan bearing)} &= 10\% \\ &[\text{Joshi; 424}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gland losses } 10\% &= 10\% \times 6,2135 \\ &= 0,6214 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power input dengan gland losses} &= 6,2135 + 0,6214 \\ &= 6,8349 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Transmission system losses} &= 20\% \\ &= 20\% \times 6,8349 \\ &= 1,3670 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power input dengan transmission system loss} &= 6,8349 + 1,367 \\ &= 8,2018 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } 2 \text{ buah pengaduk, maka power input} &= 2 \times 8,2018 \\ &= 18,9170 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 80\%$$

$$\text{Power motor} = \frac{18,917}{80\%} = 23,6463$$

$$\text{Digunakan power motor} = 23,6463 \text{ hp}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### C. Sistem Pendingin

Perhitungan jaket pendingin

Sebagai media pendingin digunakan air pendingin suhu = 30 °C

Untuk menjaga suhu supaya suhu dalam reaktor tetap = 85 °C

$$\begin{aligned}
 Q \text{ serap} &= 994388,0198 \text{ kcal/jam} \\
 &= 3943417,8544 \text{ Btu/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Suhu Bahan Masuk} = 85 \text{ °C} = 185 \text{ °F}$$

$$\text{Suhu Bahan Keluar} = 85 \text{ °C} = 185 \text{ °F}$$

$$\text{Air Pendingin Masul} = 30 \text{ °C} = 86 \text{ °F}$$

$$\text{Air Pendingin Kelua} = 45 \text{ °C} = 113 \text{ °F}$$

$$\Delta T_1 = 72 \text{ °F}$$

$$\Delta T_2 = 99 \text{ °F}$$

$$\Delta T \text{ LMTD} = 84,7847 \text{ °F}$$

$$\text{Kebutuhan Air} = 73112,8393 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Pendingin} = 161186,7590 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ Air Pendingin} = 62,43 \text{ lb/cuft}$$

$$= 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Keb. Air Pendingin}}{\rho \text{ Air Pendingin}}$$

$$= \frac{66381,4858 \text{ kg/jam}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 66,3793 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,6512 \text{ cuft/s}$$

Koefisien perpindahan panas bagian luar jaket : **(Persamaan 20-1 kern hal 718)**

$$hc = 0,36 \left( \frac{k}{Di} \right) \frac{[L^2 N \rho]^{2/3} [C\mu]^{1/3} [\mu]^{0,14}}{\mu \quad k \quad \mu_w}$$

keterangan :

$$L = Da \text{ (diameter impeller)} = 2,1125 \text{ ft}$$

$$N = \text{Putaran pengaduk} = 100 \text{ rpm} = 6000 \text{ rph}$$

$$\rho = \text{berat jenis larutan} = 89,949 \text{ lb/cuft}$$

$$\mu = \text{viskositas larutan} = 0,0012 \text{ lb/ft.s}$$

$$= 4,4287 \text{ lb/ft jam}$$

$$= 1,8307 \text{ cp}$$

$$C = \text{kapasitas panas campuran (Btu/lb °F)} \quad 1 \text{ Joule} = 0,0002 \text{ kkal}$$

$$1 \text{ kcal/kg °C} = 1 \text{ Btu/lb °F}$$

k = konduktifitas larutan

$$\text{kmix} = \frac{0,0677}{\text{sg} [1 - 0,0003 (t - 32)]}$$

$$= \frac{0,0677}{1,441 [1 - 0,0003 (85 - 32)]}$$

$$= 0,0477 \text{ Btu/jam.ft.°F} \quad \text{Perry Sed pers 3-89 hal 3-243}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\text{Re } p = \frac{[L^2 N \rho]^{2/3}}{\mu}$$
$$= \frac{(2,113^2 \times 6000 \times 89,949)^{2/3}}{4,4287}$$

$$= 4057,2328$$
$$\frac{[C\mu]^{1/3}}{k} = \frac{(1,000 \times 4,4287)^{1/3}}{0,0477}$$
$$= 34,4124$$

$$\frac{[\mu]^{0,14}}{\mu_w} = \frac{[4,4287]^{0,14}}{1}$$
$$= 1,2316$$

$$hc = 0,36 \times \frac{0,0477}{6,3439} \times 4057,2328 \times 34,412 \times 1,2316$$

$$= 465,6671 \text{ Btu/jam.ft.}^\circ\text{F}$$

Koefisien perpindahan panas bagian dalam dalam jaket ( $h_i$ ) :

**Dari kern tabel 10**, dipakai pipa 16 BWG dengan ukuran :

$$\text{OD} = 1 \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$\text{ID} = 1,37 \text{ in}$$

$$\text{flow area (a't)} = 1,470 \text{ in}^2 = 0,00095 \text{ m}^2$$

$$\text{surface/in ft (a')} = 0,3925 \text{ ft}^2$$

$$v = \frac{W}{\rho \times a't}$$
$$= \frac{73112,8393}{1000 \times 0,0009}$$

$$= 77089,4069 \text{ m/jam}$$

$$= 21,4137 \text{ m/s}$$

$$= 70,2550 \text{ fps}$$

$$h_i = 2200 \text{ Btu/j ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} \text{ (Kern. Fig 25 pg. 835)}$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{\text{ID}}{\text{OD}}$$
$$= 2200 \times \frac{1,370}{1,5}$$
$$= 2009,3333 \text{ Btu/j ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$U_c = \frac{h_i \times h_{io}}{h_i + h_{io}}$$
$$= \frac{2200 \times 2009}{2200 + 2009,3}$$
$$= 1050,2$$

$$R_d = 0,001 \text{ (Kern Tabel 12, pg. 845)}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_d = \frac{1}{1050,2} + 0,001 = 0,002$$

maka nilai dari  $U_D = 512,237 \text{ Btu/j ft}^2\text{°F}$

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}} \\ &= \frac{3943417,8544}{512,2366 \times 84,7847} \\ &= 90,7998 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

### Menentukan Tinggi Jacket

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Jacket} &= \text{Tinggi tangki} + \text{Tinggi Tutup Bawah} \\ &= 12,6879 + 0,0095 \\ &= 12,6974 \text{ ft} \end{aligned}$$

*Asumsi :*

Tebal air pendingin (s) = 4 in

Tebal jacket (tj) = 3/16 in

Ef.sambungan las (E) = 0,8

Faktor korosi (c) = 1/8

Dipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari *Carbon Steel* dengan spesifikasi, *Carbon Steel SA-283 Grade C*

$f_{allowable} = 12650 \text{ psi}$

$$\begin{aligned} D_o (\text{shell}) &= D_i + 2t_s \\ &= 76,127 + 2 \times 3/16 \\ &= 76,502 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_i (\text{jaket}) &= D_{os} + 2s \\ &= 76,502 + 2 \times 4 \\ &= 84,50 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_o (\text{jaket}) &= D_i j + 2t_j \\ &= 84,50 + 2 \times 1/5 \\ &= 84,88 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ desain jaket} &= P_o - P_i + P_h \\ &= 14,7 - 14,7 + \rho \times \frac{\text{g}}{\text{gc}} \times h \text{ bahan} \\ &= 89,9489 \frac{\text{lb}}{\text{cuft}} \times 1 \frac{\text{lbf}}{\text{lbf}} \times 10,1506 \text{ ft} \\ &= 913,0319 \text{ lbf/ft}^2 \\ &= 6,3405 \text{ psi} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Penentuan Tebal jaket :

Tebal Jaket berdasarkan ASME code untuk *cylindrical tank*

$$t = \frac{P \times D_{ij}}{2f_e - P} + C$$

Dimana :

$P_d$  = Tekanan desain (psi)

$D_{ij}$  = Diameter dalam jaket (in)

$E$  = Faktor Pengelasan, 0,8

$t$  = Tebal dinding minimal (in)

$$3/16 = \frac{6,3405 \times 84,502}{2f \times 0,8 - 6,3405} + \frac{1}{8}$$

$$3/16 = \frac{535,7874}{1,6f - 6,3405} + 1/8$$

$$0,0625 = \frac{535,7874}{1,6f - 6,3405}$$

$$0,0625 ( 1,6f - 6,3405 ) = 535,7874$$

$$0,1f - 0,3963 = 535,7874$$

$$0,1f = 536,1837$$

$$f = 5361,837$$

$f$  hitung lebih kecil dari pada  $f_{allowable}$  , jadi tebal jaket 3/16 **memenuhi**



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Spesifikasi :

Fungsi = Mereaksikan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  menjadi  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$

Type = *Mix Flow* yang dilengkapi dengan jaket pendingin

### Dimensi reaktor:

Waktu reaksi = 1 jam  
Diameter = 6,3439 ft = 1,9336 m  
Tinggi total reaktor = 12,7069 ft = 3,8731 m  
Kapasitas reaktor = 400,8722 cuft = 11,3487 m<sup>3</sup>  
Tebal shell = 3/16 in  
Tinggi shell = 12,6879 ft = 3,8673 m  
Tebal tutup (atas & bawah) = 0,3125 in  
Tinggi (tutup atas & bawah) = 0,0095 ft = 0,0029 m  
Bahan konstruksi = *Carbon Steel SA-283 Grade C*  
Waktu tinggal reaksi = 1 jam  
Jumlah reaktor = 1 buah

### Dimensi Pengaduk :

Type = Dipilih pengaduk *type flat blade turbine* dengan jumlah *blade* 6  
Diameter *Impeller* = 2,1125 ft = 0,6439 m  
Jarak *impeller* ke dasar = 2,1125 ft = 0,6439 m  
Tebal *blade* = 0,0528 ft = 0,0161 m  
Panjang *blade* = 0,5281 ft = 0,1610 m  
Jumlah *Impeller* = 2 Buah  
Power = 23,6463 hp

### Dimensi jaket pendingin:

Diameter dalam jaket = 84,5024 in = 2,1464 m  
Tinggi jaket = 12,6974 ft = 3,8702 m  
Jaket *spacing* = 4 in  
Luas *Heat Transfer* = 90,7998 ft<sup>2</sup>  
Tebal *Shell* = 3/16 in





## Pra Rencana Pabrik

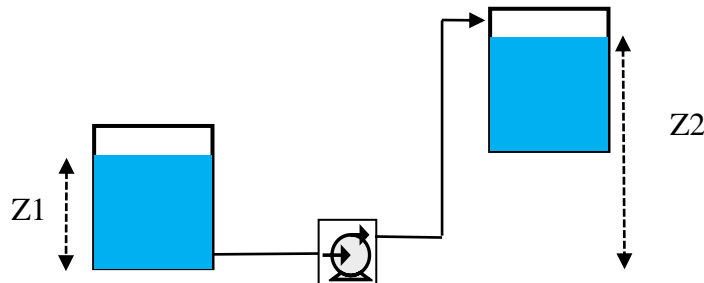
“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 12. POMPA-3 (L-211)

Fungsi = Memindahkan bahan dari Reaktor ke Evaporator

Type = *Centrifugal pump*

Dasar Pemilihan = Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid



Feed Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	0,4451	1,5200
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	0,0171	2,5330
NaCl	0,0000	0,0000	2,1630
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	1,8300
H <sub>2</sub> O	6195,8077	0,5377	1,0000
<b>Total</b>	<b>11521,8104</b>	<b>1,0000</b>	

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho_{\text{komponen}}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft}$$

$$= \frac{1}{\frac{0,4451}{1,520} + \frac{0,0171}{2,533} + \frac{0,0000}{2,163} + \frac{0,0000}{1,83} + \frac{0,5377}{1}} \times 62,43$$

$$= 50,3531 \text{ lb/cuft}$$

**Perhitungan :** (Asumsi = Aliran Turbulen)

Bahan Masuk = 11521,8104 kg/jam = 25401,3290 lb/jam

$\rho_{\text{reference}}$  = 62,43 lb/cuft

$\rho_{\text{bahan}}$  = 50,3531 lb/cuft = 27694,2199 kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{25401,3290 \text{ lb/jam}}{50,3531 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 504,4638 \text{ cuft/jam}$$

$$= 8,4077 \text{ cuft/menit}$$

$$= 62,8942 \text{ gpm}$$

$$= 0,1401 \text{ cuft/detik} = 0,0040 \text{ m}^3/\text{detik}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Asumsi Aliran Turbulen

Di optimum untuk turbulen,  $NRe > 2100$  digunakan persamaan (15) Peters:

$$Di \text{ optimum} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

Dengan  $q_f = \text{fluid flow rate}$  (cuft/dt)

$\rho = \text{fluid density}$  (lb/cuft)

$$\text{Diameter optimum (Di)} = 3,9 \times 0,413 \times 1,664$$

$$= 2,68 \text{ in} \quad [\text{Peters, 4ed, pers 15 hal 496}]$$

Dipilih pipa 3 in sch 40ST 40S [Brownell, appendix K, pg. 387]

$$OD = 3,5 \text{ in}$$

$$ID = 3,018 \text{ in} = 0,2515 \text{ ft} = 0,08 \text{ m}$$

$$A = 0,79 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan aliran, } v &= \frac{\text{Rate volumetrik cuft/menit}}{(\text{Area pipa} \times s) \text{ ft}^2 \times 60 \text{ detik}} \\ &= \frac{8,4077}{0,790 \times 60} \\ &= 0,1774 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sg bahan} &= \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference (H}_2\text{O)}} \times \text{Sg reference} \\ &= \frac{50,3531}{62,43} \times 1 \end{aligned}$$

$$\text{Sg bahan} = 0,8066$$

Berdasarkan Sg bahan

$$\mu \text{ reference} = 0,0009 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ bahan} &= \frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference (H}_2\text{O)}} \times \mu \text{ reference} \\ &= \frac{0,8066}{1} \times 0,00085 \end{aligned}$$

$$\mu \text{ bahan} = 0,0007 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} NRe &= \frac{ID \ v \ \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,25 \times 0,177 \times 50,35}{0,0007} \\ &= 3276,5198 > 2.100 \text{ asumsi turbulen } \mathbf{BENAR} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Dipilih pipa *commercial steel*

$$\varepsilon = 0,000046 \text{ m} \quad [\text{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$\varepsilon/D = \frac{0,000046}{0,0766572} = 0,0006001$$

$$f = 0,0060 \quad [\text{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$gc = 32,174$$

$$a = 1 \text{ (aliran turbulen)} \quad (\text{Peters \& Timmerhause 4ed : 485})$$

$$k = 0,4 \text{ A tangki} > \text{A pipa} \quad (\text{Peters \& Timmerhause 4ed : 484})$$

Digunakan persamaan Bernoulli:

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma f$$

Perhitungan friksi berdasarkan *Peters, 4ed, Tabel 1 hal. 484*

$$\text{Taksiran panjang pipa lurus} = 30 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang ekuivalen suction, L} \quad (\text{Peters 4ed; Tabel 1})$$

$$\bullet 3 \text{ Elbow } 90^\circ = 3 \times 32 \times (\text{ID} = 0,2515 \text{ ft}) = 24,1440 \text{ ft}$$

$$\bullet 1 \text{ Globe valve} = 1 \times 300 \times (\text{ID} = 0,2515 \text{ ft}) = 75,4500 \text{ ft}$$

$$\bullet 1 \text{ Gate valve} = 1 \times 7 \times (\text{ID} = 0,2515 \text{ ft}) = 1,7605 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang total pipa, Le} = 131,3545 \text{ ft}$$

### Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D} \\ &= \frac{2 \times 0,006 \times 0,177^2 \times 131,35}{32,174 \times 0,2515} \\ &= 0,0061 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$A_1 = \text{luas penampang tangki} = 31,593 \text{ ft}^2$$

$$A_2 = \text{luas penampang pipa} = 0,7900 \text{ ft}^2$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{0,7900}{31,59} = 0,025006 \quad \text{A tangki} > \text{A pipa}$$

$$\alpha = 1 \quad (\text{untuk aliran turbule (Peters 4ed, Tabel 1 hal 484-485)})$$

$$Kc = 0,4 (1,25 - A_2/A_1)$$

$$= 0,5$$

$$\begin{aligned} f_2 &= \frac{Kc \times v^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad (\text{Peters 4ed, Tabel 1 hal 484-485}) \\ &= \frac{0,5 \times 0,177^2}{2 \times 1 \times 32,2} \\ &= 0,0002396 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

3. Friksi karena *enlargement* (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$\begin{aligned} f_3 &= \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} \\ &= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap } = 0) \\ &= \frac{0,177^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,2} \\ &= 0,0005 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$

4. Friksi karena *elbow* 90°

$$\begin{aligned} f_4 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \quad (\text{Geankoplis 3ed eq. 2.10-17 pg. 94}) \\ &= 0,75 \times \frac{0,177^2}{2} \quad (\text{Geankoplis 3ed Tabel 2.10-1 pg. 93}) \\ &= 0,0118 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$

5. Friksi karena *gate valve*

$$\begin{aligned} f_5 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \\ &= 0,17 \times \frac{0,177^2}{2} \\ &= 0,0027 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma f &= f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \\ &= 0,02 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$

$$1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi} \times 144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 = 2116,8 \text{ lbf/ft}^2$$

$$P_1 = P \text{ hidrostatis}$$

$$\text{Tinggi bahan, H} = 10,1506 \text{ ft}$$

$$\rho \text{ bahan} = 50,3531 \text{ lb/cuft}$$

$$P \text{ hidrostatis} = \rho \times g/gc \times H$$

$$= 50,353 \text{ lb/cuft} \times 1 \times 10,151 \text{ ft}$$

$$= 511,112 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_1 = 511,112 \text{ lb/ft}^2 + 2116,8 \text{ lb/ft}^2$$

$$= 2627,912 \text{ lb/ft}^2$$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$= 2116,8 - 2627,9 \text{ lb/ft}^2$$

$$= 511,1 \text{ lb/ft}^2$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{511,11}{50,35}$$

$$= 10,2 \frac{\text{lb/ft}^2}{\text{lbm/ft}^3} = 10,2 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Berdasarkan H Evaporator

$$\text{Asumsi : } Z_2 = H \text{ liq evaporator} = 10,3573 \text{ ft}$$

$$Z_1 = H \text{ liq reaktor} = 10,1506 \text{ ft}$$

$$g/gc = 1 \text{ lbf/lbm}$$

$$g, \text{ percepatan gravitasi bumi} = 32,2 \text{ ft/dt}^2$$

$$gc, \text{ konstanta gravitasi bumi} = 32,2 \text{ ft/dt}^2 \times \text{lbm/lbf}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0,1774^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32,2}$$
$$= 0,0005 \text{ ft.lbf / lbm}$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times g/gc$$
$$\frac{\Delta Z}{gc} = (10,3573 - 10,1506) \times 1 \frac{\text{ft/dt}^2}{\text{ft.lbm/dt}^2 \cdot \text{lbf}}$$
$$= 0,207 \frac{\text{ft} \cdot \text{lbf}}{\text{lbm}}$$

### Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta v^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F$$
$$= 10,2 + 0,207 + 0,0005 + 0,021$$
$$= 10,3792 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Sg campuran (Himmelblau : berdasarkan Sg bahan)

$$\text{Rate volumetrik} = 62,894 \text{ gpm}$$

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate (gpm)} \times sg}{3960} \quad [\text{Perry 6ed eq.6-11 pg.6-5}]$$
$$= \frac{10,379 \times 62,89 \times 0,8066}{3960}$$
$$= 0,1330 \text{ hp}$$

$$\text{Efisiensi pompa} = 65\% \quad (\text{Peters 4}^{ed}; \text{fig.14-37}) \text{ pp 520}$$

$$Bhp = \frac{hp}{\eta \text{ pompa}}$$
$$= \frac{0,1330}{65\%}$$
$$= 0,2 \text{ hp}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 83\% \quad (\text{Peters 4}^{ed}; \text{fig.14-38}) \text{ pp 521}$$

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}}$$
$$= \frac{0,2}{83\%}$$
$$= 0,25 \text{ hp}$$

$$\text{digunakan power} = 0,2 \text{ hp}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi:

Fungsi	=	Memindahkan bahan dari reaktor ke evaporator
Type	=	<i>Centrifugal pump</i>
Dasar pemilihan	=	Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	=	25401,3290 lb/jam
Kecepatan aliran (v)	=	0,1774 ft/detik
Rate volumetrik	=	62,8942 gpm
Total <i>dynamic head</i>	=	10,3792 ft.lbf/lbm
Efisiensi motor	=	83%
Power motor	=	0,2 hp
Bahan konstruksi	=	<i>Commercial Steel</i>
Jumlah	=	1 Buah

**13. COMPRESSOR (G-421)**

- Fungsi = Memberi tekanan pada tangki CO<sub>2</sub>
- Type = *Multi stage reciprocating*
- Dasar pemilihan = Sesuai dengan jenis bahan, efisiensi tinggi.
- Kondisi Operasi Tekanan = 50 atm
- Suhu = -25 °C

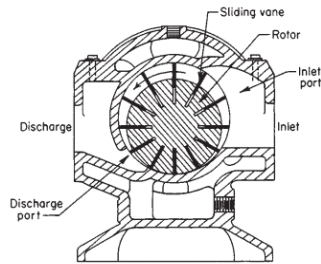


FIG. 10-81 Sliding-vane type of rotary compressor.

**Perhitungan rate gas:**

Rate massa gas CO<sub>2</sub> = 1562,6643 kg/jam = 3445,0966 lb/jam

BM gas CO<sub>2</sub> = 44 kg/kmol

BM udara standart = 359 kg/kmol

Menentukan densitas gas CO<sub>2</sub> : **[Himmelblau : 249]**

pada P = 50 atm

T = -25 °C = 447 °R

Udara standart

T = 25 °C = 537 °R

P = 1 atm

$$\rho = \frac{T \text{ udara standart}}{T \text{ gas CO}_2} \times \frac{P \text{ gas CO}_2}{P \text{ udara standart}} \times \frac{BM \text{ gas CO}_2}{BM \text{ udara standart}}$$

$$= \frac{537 \text{ °R}}{447 \text{ °R}} \times \frac{50 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} \times \frac{44 \text{ kg/kmol}}{359 \text{ kg/kmol}}$$

= 7,3629 lb/cuft

$\rho$  reference (air) = 62,43 lb/cuft

Rate volumetrik =  $\frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$

=  $\frac{3.445,10 \text{ lb/jam}}{7,3629 \text{ lb/cuft}}$

= 467,8996 cuft/jam

= 7,7983 cuft/menit = 0,1300 cuft/detik



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Asumsi aliran turbulen

Di optimum untuk turbulen,  $NRe > 2100$  digunakan persamaan (15)

$$\text{Diameter optimum} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

Dengan:  $q_f = \text{fluid flow rate}$  (cuft/dt)

$\rho = \text{fluid density}$  (lb/cuft)

Diameter pipa optimum = 2,0184 in [*Peters, 4ed eq. 15 pg. 496*]

Dipilih pipa 8in sch 10S

OD = 8,625 in [*Brownell, app. K, pg. 876*]

ID = 8,329 in = 0,6941 ft = 0,21 m

A = 2,18 ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan aliran, } v &= \frac{\text{Rate volumetrik}}{(\text{Area pipa} \times s)} = \frac{\text{cuft/menit}}{\text{ft}^2 \times 60 \text{ detik}} \\ &= \frac{7,7983}{2,18 \times 60} \\ &= 0,0596 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sg \text{ bahan} &= \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference (H}_2\text{O)}} \times Sg \text{ reference} \\ &= \frac{7,3629}{62,43} \times 1 \\ &= 0,1179 \end{aligned}$$

Berdasarkan Sg bahan

$\mu \text{ reference} = 0,0009 \text{ lb/ft.detik}$

$$\begin{aligned} \mu \text{ bahan} &= \frac{Sg \text{ bahan}}{Sg \text{ reference (H}_2\text{O)}} \times \mu \text{ reference} \\ &= \frac{0,1179}{1} \times 0,00085 \\ &= 0,0001002 \text{ lb/ft.detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} NRe &= \frac{ID \times v \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,694 \times 0,060 \times 7,363}{0,0001002} \\ &= 3039,342634 > 2100 \quad \text{Asumsi turbulen **BENAR**} \end{aligned}$$

### Perhitungan power

$$hp = 0,004 \times Q \times P_1 \times \ln \frac{P_2}{P_1} \quad [\text{Perry 6ed eq. 6-31b}]$$

dengan : Q = rate volumetrik (cuft/menit)

$P_1 = \text{operating suction pressure}$  ; 14,7 psi = 1 atm

$P_2 = \text{operating discharge pressure}$  ; psi  
= 148 atm = 2176 psi





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

$$\begin{aligned}P_2 &= P_1 + \Delta P \text{ pipa} + \Delta P \text{ akhir} \\ &= 14,7 \text{ psi} + 2 \text{ psi} + 2176 \text{ psi} \\ &= 2192,3 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}hp &= 0,004 \times Q \times P_1 \times \ln \frac{P_2}{P_1} \\ &= 0,004 \times 7,798 \frac{\text{cuft}}{\text{menit}} \times 14,7 \text{ psi} \times \ln \frac{2192,3 \text{ psi}}{14,7 \text{ psi}} \\ &= 2,2949 \text{ hp}\end{aligned}$$

Dengan asumsi efisiensi motor yaitu = 80% Maka:

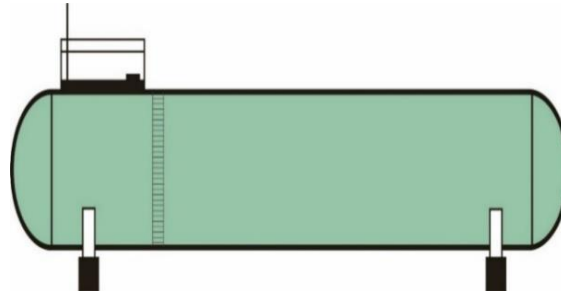
$$\begin{aligned}hp &= \frac{2,29}{80\%} \text{ hp} \\ &= 2,8687 \text{ hp}\end{aligned}$$

$$\text{Adiabatic head} = 15000 \text{ ft.lbf/lbm} \quad [\text{Perry 6ed, fig. 6-35}]$$

### Spesifikasi :

Bahan	=	Commercial steel
Rate volumetrik	=	7,7983 cuft/menit
Adiabatic head	=	15.000 ft.lbf/lbm
Efisiensi motor	=	80%
Power	=	3 hp
Jumlah	=	1 buah

#### 14. TANGKI CO<sub>2</sub>



- Fungsi = Menyimpan CO<sub>2</sub> berupa liquid  
Type = Bejana bertekanan berbentuk silinder horizontal  
Kondisi Operasi = Tekanan = 70 atm  
Suhu = 30 °C  
Waktu penyimpanan = 3 hari

Komposisi Bahan :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	ρ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
CO <sub>2</sub>	1557,9437	0,9970	0,0020
HCl	4,7206	0,0030	
Total	1562,6643	1,0000	

$$\rho \text{ bahan fase liquid} = 10,6 \text{ lb/cuft}$$

$$\text{Rate Massa} = 1562,6643 \text{ kg/jam}$$

$$= 3445,0966 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{3445,0966 \text{ lb/jam}}{10,6 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 325,0091 \text{ cuft/jam}$$

Direncanakan penyimpanan untuk 3 hari proses 4 buah tangki (untuk mempermudah pengeluaran dan pengisian), sehingga volume bahan adalah :

$$\text{Volume Bahan} = \frac{325,0091 \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 3 \text{ hari}}{4 \text{ tangki}}$$

$$= 5850,1640 \text{ cuft}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (untuk faktor keamanan)

Asumsi Volume Bahan = 80% volume tangki

$$\text{Volume tangki} = \frac{5850,1640 \text{ cuft}}{80\%}$$

$$= 7312,7049 \text{ cuft}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi *Dimension Ratio*  $H/D = 2 - 5$  (*Ulrich : T.4-27*)

Dipilih  $H/D = 2$

Volume Tangki =  $1/4 \pi D^2 H$

$$V_s = 1/4 \times 3 \times D^2 \times 2D$$

$$V_s = 1,57 D^3$$

Dimana :

V tutup atas =  $0,000049 D_s^3$  (*Brownell & Young pg. 88*)

V tutup bawah =  $0,000049 D_s^3$

Jika diambil  $\alpha = 30^\circ$

Volume tangki =  $V_s + V \text{ tutup atas} + V \text{ tutup bawah}$

$$7312,7049 = 1,57 D^3 + (2 \times 0,000049 D_s^3)$$

$$7312,7049 = 1,5701 D^3$$

$$4657,4831 = D^3$$

$$H = 2 D$$

$$D = 16,7000 \text{ ft} = 33,4000 \text{ ft}$$

$$= 200,4003 \text{ in} = 400,8006 \text{ in}$$

$$= 5,0902 \text{ m} = 10,1803 \text{ m}$$

H bahan =  $80\% H$

$$= 80\% \times 33,4000 \text{ ft}$$

$$= 26,7200 \text{ ft}$$

$$= 9,6 \text{ in}$$

$$= 8,1443 \text{ m}$$

P design =  $P_o - p_i + P_{hidrostatik}$

$$= 14,70 - 14,70 + (\rho \cdot (H_{\text{bahan}} - 1)) / 144$$

$$= 14,7 - 14,7 + 1,9669$$

$$= 1,9669 \text{ psi}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

P design =  $1,9669 \times 1,1$

$$= 2,1636 \text{ psi}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Menentukan Tekanan Desain

Tebal *shell* berdasarkan ASME code untuk *cylindrical tank* :

$$t_{s_{min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \quad [Brownell, pers. 13-1, hal 254]$$

### Menentukan Tebal Minimum Shell

Dimana :

- $t_{s_{min}}$  = tebal shell minimum (in)
- P = tekanan tangki (psi)
- $r_i$  = jari-jari tangki (in,  $\frac{1}{2}D$ )
- C = faktor korosi (in,  $\frac{1}{8}$  in)
- E = faktor pengelasan (*double welded*, 0,8 )
- f = *allowable stress*, bahan konstruksi *Carbon Steel SA-283 Grade C*  
maka, f = 12650 psi [Brownell, T.13-11]

Asumsi tebal *shell* =  $\frac{3}{16}$  in

$$t_{s_{min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C$$

$$\frac{3}{16} \text{ in} = \frac{2,1636 \text{ psi} \times (0,5 \times 200,4003 \text{ in})}{f \cdot 0,8 - 1,2981 \text{ psi}} + \frac{1}{8} \text{ in}$$

$$\frac{1}{16} \text{ in} = \frac{216,7911 \text{ psi in}}{f \cdot 0,8 - 1,2981 \text{ psi}}$$

$$f = 4334,1997 \text{ psi}$$

f hitung lebih kecil dari pada f *allowable*, jadi tebal *shell*  $\frac{3}{16}$  memenuhi

### Menentukan Tebal Tutup Atas dan Tutup Bawah

Tutup atas dan bawah dipilih *elliptical dished*

Menentukan Tebal Minimum Shell

$$t_h = \frac{P \times D_i}{2 f e - 0,2 P} + C \quad (Brownel \& Young \text{ pg. } 152)$$

Keterangan :

- $t_h$  = tebal tutup (*head*) *shell* minimum (in)
- $D_i$  = Diameter *Shell* (in)
- P = tekanan tangki (psia)
- E = faktor pengelasan (*double welded butt joint*, = 0,8 )
- C = faktor korosi =  $\frac{1}{8}$  in
- f = *allowable stress*, bahan konstruksi *Carbon Steel SA-283 Grade C*  
maka, f = 12650 psi [Brownell, T.13-11]



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Tebal standart elliptical dished

$$\text{Asumsi tebal shell} = 3/16 \text{ in}$$

$$t_h = \frac{P \times D_i}{2 f E - 0,2 P} + C$$

$$3/16 \text{ in} = \frac{2,1636 \text{ psi} \times 200,4003 \text{ in}}{2 f \cdot 0,8 - 0,4327 \text{ psi}} + 1/8 \text{ in}$$

$$1/16 \text{ in} = \frac{433,5822 \text{ psi in}}{f \cdot 1,6 - 0,4327 \text{ psi}}$$

$$f = 4335,5519 \text{ psi}$$

$f$  hitung lebih kecil dari pada  $f$  allowable, jadi tebal shell 3/16 **memenuhi**

### Spesifikasi :

Kapasitas = 7312,7049 cuft

Tekanan = 1 atm

Diameter tangki = 16,7000 ft = 5,0902 m

Panjang tangki = 33,4000 ft = 10,1803 m

Tebal shell = 3/16 in

Tebal tutup = 3/16 in

Bahan konstruksi = *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Jumlah = 4 buah

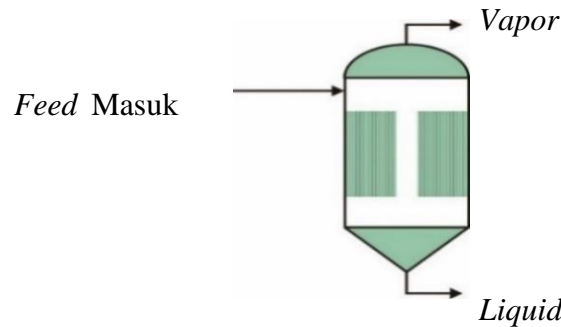


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 15. EVAPORATOR (V-310)

- Fungsi = Memekatkan larutan  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$   
 Type = *Standart vertical tube evaporator (Calandria)*  
 Dasar pemilihan = Sesuai untuk proses pemekatan larutan  
 Kondisi Operasi Tekanan = 1 atm  
 Suhu = 120 °C  
 Sistem kerja = *Continuous*



Dari neraca panas didapatkan :

$$\begin{aligned}
 Q_{Supply} &= 15311,5186 \text{ kcal/jam} \\
 &= 60720,4778 \text{ Btu/jam}
 \end{aligned}$$

Feed Masuk Evaporator

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	5128,4645	0,4451	1,5200
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	197,5383	0,0171	2,5300
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000	1,8300
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000	2,1630
$\text{H}_2\text{O}$	6195,8077	0,5377	1,0000
<b>Total</b>	<b>11521,8104</b>	<b>1,0000</b>	

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{campuran}} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho_{\text{komponen}}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft} \\
 &= \frac{1}{\frac{0,445}{1,52} + \frac{0,0171}{2,53} + \frac{0,0000}{1,83} + \frac{0,0000}{2,163} + \frac{0,538}{1}} \times 62,43 \\
 &= 74,5560 \text{ lb/cuft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Massa} &= 11521,8104 \text{ kg/jam} \\
 &= 25401,3290 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

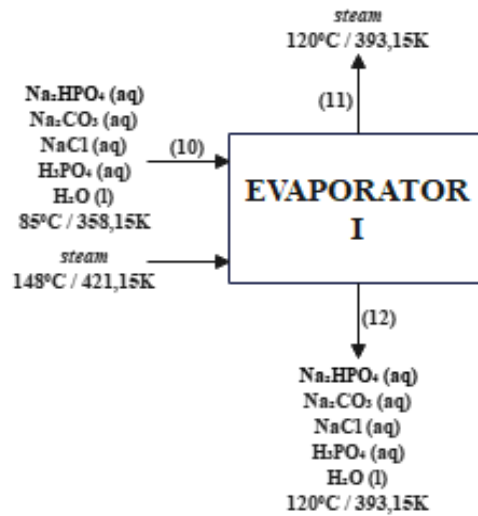
$$\begin{aligned}
 \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} & t &= \\
 &= \frac{25401,3290 \text{ lb/jam}}{74,5560 \text{ lb/cuft}}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Diagram suhu :



### 1. Neraca panas :

Dari neraca massa dan neraca panas diperoleh :

Berat bahan	=	11521,8104	kg/jam
	=	25401,3290	lb/jam
Panas yang dibutuhkan, Q	=	15311,5186	kcal/jam
	=	60720,4778	Btu/jam
W steam	=	544,8202	kg/jam
	=	1201,1269	lb/jam

### 2. Log Mean Temperature Difference

$t_1$	=	85,00 °C	=	185,00 °F
$t_2$	=	120 °C	=	248,00 °F
$T_1$	=	120 °C	=	248,00 °F
$T_2$	=	148 °C	=	298,40 °F

$$\begin{aligned} \Delta t_1 &= T_2 - t_1 & \Delta t_2 &= T_1 - t_2 \\ &= 298,4 - 185,0 & &= 298,4 - 248,0 \\ &= 113,4 \text{ °F} & &= 50,4 \text{ °F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LMTD} &= \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \\ &= \frac{50,4 - 113,4}{\ln \frac{50,4}{113,4}} = 77,7 \text{ °F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta t &= F_T \times \text{LMTD} \\ &= 1 \times 77,7 \\ &= 77,7 \text{ °F} \end{aligned}$$



### Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

#### 3. Tc dan tc dipakai temperatur rata-rata

$$\begin{aligned} T_c &= T_{av \text{ steam}} & t_c &= t_{av \text{ bahan}} \\ &= \frac{248,0 + 298,4}{2} & &= \frac{185,0 + 248,0}{2} \\ &= 273,2 \text{ } ^\circ\text{F} & &= 216,5 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dipilih tipe : *1-2 Heat Exchanger*

Digunakan *shell and tube* dengan ukuran :

OD, BWG, *pitch* = 1½ in, 18 BWG, 1⅞-in square

Panjang *Tube* , L = 4 ft

**Berdasarkan Kern; T. 10 hal. 843**

ID = 1,4 in

a' = 1,540 in<sup>2</sup>

a" = 0,3925 ft<sup>2</sup>/lin ft

*Hot Fluid* = *Steam*

*Cold Fluid* = Larutan Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> dimana μ bahan kurang dari 2 Cp

Nilai U<sub>D</sub> range = 200-700 Btu/jam.ft<sup>2</sup>°F (*Cold fluid = aqueous solution*)

(*Kern Table 8 ; Page 840*)

**Trial :**

Untuk sistem *steam* dan *aqueous solution*

Trial U<sub>D</sub> = 200 Btu/jam.ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{\Delta t_{LMTD} \times U_D} \\ &= \frac{60720,4778 \text{ Btu/jam}}{77,7 \text{ } ^\circ\text{F} \times 200 \text{ Btu/jam.ft}^2} \\ &= 3,9079 \text{ ft}^2 \\ &= 0,3631 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A}{L \times a''} \\ &= \frac{3,9079 \text{ ft}^2}{4 \text{ ft} \times 0,3925 \text{ ft}} \\ &= 2 \end{aligned}$$

Asumsi 2 *tube passes* , dari tabel 9 pg 841 kern dipilih ukuran yang paling mendekati: ¾" OD tubes on 1" square pitch

ID *shell* = 10 in

*Passes* = 2

*Baffle Space* = 5





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Sg bahan} &= \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times \text{Sg reference} \\ &= \frac{74,5560}{62,43} \times 1 \\ &= 1,1942 \end{aligned}$$

$\mu$  berdasarkan Sg bahan

$$\text{Sg reference} = 1 \quad [\text{Kern table 6 pg. 808}]$$

$$\mu \text{ reference} = 0,16 \text{ cp} \quad [\text{Kern fig. 14 pg. 823}]$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ bahan} &= \frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu \text{ reference} \\ &= \frac{1,1942}{1} \times 0,16 \\ &= 0,1911 \text{ cp} \\ &= 0,4624 \text{ lb/ft det} \end{aligned}$$

Koreksi koefisien  $U_D$

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 2,49 \times 4 \text{ ft} \times 0,393 \text{ ft} \\ &= 3,9079 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{D_{t_{LMTD}} \times A} \\ &= \frac{60720,47778 \text{ Btu/jam}}{77,7 \text{ }^\circ\text{F} \times 3,908 \text{ ft}^2} \\ &= 200 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{ }^\circ\text{F} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<i>Hot Fluid : Tube side, steam</i>	<i>Cold Fluid: Shell Side, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub></i>
<p><b>4. Flow Area</b></p> $a'_t = 1,540 \text{ in}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10 hal. 843)</i></p> $a_t = \frac{N_t \times a'_t}{144 \times n}$ $= \frac{2,49 \times 1,540 \text{ in}^2}{144 \times 2}$ $= 0,0133 \text{ ft}^2$	<p><b>4. Flow Area</b></p> $C' = P_T - \text{OD Tube}$ $= 1 \text{ in} - \frac{3}{4} \text{ in}$ $= \frac{1}{4} \text{ in}$ $a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 \times P_T}$ $= \frac{10 \times \frac{1}{4} \times 5}{144 \times 1}$ $= 0,0868 \text{ ft}^2$
<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_t = \frac{W_{\text{steam}}}{a_t}$ $= \frac{1201,1269 \text{ lb/jam}}{0,0133 \text{ ft}^2}$ $= 90242,7239 \text{ lb/jam.ft}^2$	<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_s = \frac{W_{\text{bahan}}}{a_s}$ $= \frac{25401,3290 \text{ lb/jam}}{0,0868 \text{ ft}^2}$ $= 292623,3095 \text{ lb/jam.ft}^2$
<p><b>6. Reynold Number</b></p> $T_c = 273,2 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,013 \text{ cps}$ $= 0,0315 \text{ lb/jam ft}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 15)</i></p> $D_i = 1,400 \text{ in}$ $= 0,117 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10)</i></p> $Re_{t} = \frac{D \times G_t}{\mu}$ $= \frac{0,12 \text{ ft} \times 90242,7239 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}}{0,0315 \text{ lb/ft hr}}$ $= 334657,2723$	<p><b>6. Reynold Number</b></p> $t_c = 216,50 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,1911 \text{ cps}$ $= 0,4624 \text{ lb/ft hr}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 14)</i></p> $D_e = 0,950 \text{ in}$ $= 0,079 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p> $Re_{s} = \frac{D_e \times G_s}{\mu} \quad \text{(Kern; 7.3)}$ $= \frac{0,08 \text{ ft} \times 292623,3095 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}}{0,4624 \text{ lb/ft hr}}$ $= 50098,7520$
	<p><b>7. Faktor Panas (<math>j_H</math>)</b></p> $j_H = 81 \text{ Btu/lb ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<i>Hot Fluid : Tube Side, Steam</i>	<i>Cold Fluid : Shell Side, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>
	<p><b>8. Mencari <math>(c\mu/k)^{1/3}</math></b>            Pada <math>t_c = 216,50</math> °F  <math>c_p = 0,90</math> Btu/lb.°F  <i>(Kern; F. 2)</i>  <math>k = 49</math> <math>\frac{\text{Btu}}{\text{j.ft.}^\circ\text{F}}</math> <i>(Kern; T. 4)</i></p> $(c\mu/k)^{1/3} = \frac{(\mu \times c)^{1/3}}{k^{1/3}}$ $= \frac{(0,4624 \times 0,90)^{1/3}}{(49)^{1/3}}$ $= 0,2073$
<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>            untuk <i>steam</i>  <math>h_{i_o} = 1500</math> Btu/hr ft<sup>2</sup> °F  <i>(Kern; pg. 164)</i></p>	<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>  <math>h_o = j_H \times (k/De) \times (c\mu/k)^{1/3} \times fs</math>  <math>h_o = 81 \times \frac{49}{0,08} \times 0,207</math>  <math>h_o = 10392,7888</math> Btu/hr ft<sup>2</sup> °F</p> <p>(10') <i>Corrected coefficient</i>  <math>h_o = \frac{h_o.ID}{OD}</math>  <math>= 779,459</math> Btu/hr.ft<sup>2</sup>.°F</p>



**Pra Rencana Pabrik**

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<b>PRESSURE DROP</b>	
<i>Hot Fluid : Tube side, steam</i>	<i>Cold Fluid: Shell Side, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>
<p>(1) Sg bahan:            dari tabel 7 kern , spesifik volume            pada suhu 248 °F  <math>= 6,655 \text{ ft}^3/\text{lb}</math>  <math>\rho = 1 \text{ lb}/ 6,655 \text{ cuft}</math>  <math>= 0,1503 \text{ lb}/\text{ft}^3</math>  <math>sg = \frac{0,15}{62,4} = 0,0024</math>  <math>D = 0,8333 \text{ ft}</math>  <math>sg = 0,002</math>  <math>Ret = \frac{Ds'. Gt}{\mu}</math>  <math>= 334657,2723</math>  <math>f = 0,00145 \text{ ft}^2/\text{in}^2</math>  <i>[Kern; Fig.29]</i></p> <p>(2) :  <math>\Delta Pt = \frac{f.Gt^2.L.n}{5.22 \times 10^{10} \times De \times s \times \phi t}</math>  <math>= 6,4448 \text{ Psi}</math>  <math>\Delta P_t &lt; 10 \text{ psi}</math>            (memenuhi untuk gas)</p>	<p>(1') Sg bahan:  <math>sg = 1,1942</math>  <math>f = 0,00026 \text{ ft}^2/\text{in}^2</math> <b>[Kern, Fig.26]</b>  <math>Res = 50098,7520</math>  <math>(N+1) = \frac{12 \times L}{B}</math>  <math>= \frac{12 \times 4}{5}</math>  <math>= 9,60</math></p> <p>(2') <math>DPs = \frac{f Gs^2 De (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} De s f}</math>  <math>= 0,5470</math>  <math>\Delta P_s &lt; 2 \text{ psi}</math>            (memenuhi untuk liquid)</p>

**13. Clean Overall Coefficient (Uc)**

$$U_c = \frac{h_{i_o} \times h_o}{h_{i_o} + h_o}$$

$$= \frac{1500 \times 779,459}{1500 + 779,459}$$

$$U_c = 512,9238 \frac{\text{Btu}}{\text{jam.ft}^2.\text{°F}}$$

**14. Dirt factor (Rd)**

$$U_D = 200 \text{ Btu}/\text{jam.ft}^2.\text{°F}$$

$$Rd = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$

$$Rd = \frac{512,9238 - 200}{512,9238 \times 200}$$

$$Rd \text{ cal} = 0,0031 \frac{\text{jam.ft}^2.\text{°F}}{\text{Btu}}$$

$$Rd \text{ required} = 0,003$$

0.003 ≈ 0.003 untuk *heater steam* *[Kern table 12 no.8451]*



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Menentukan dimensi evaporator

$$\text{Volume campuran dalam evaporator} = 340,7015 \text{ cuft/jam}$$

$$\text{Waktu tinggal campuran} = 45 - 180 \text{ menit [Ulrich, 1984]}$$

$$\text{waktu tinggal} = 60 \text{ menit}$$

$$\text{sehingga volume bahan} = 340,70153 \text{ cuft}$$

$$\text{Asumsi bahan mengisi } 80\% \text{ volume tangki (untuk faktor keamanan)}$$

$$\text{Asumsi Volume Bahan} = 80\% \text{ volume tangki}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{340,7015 \text{ cuft}}{80\%} \\ &= 425,8769 \text{ cuft} \\ &= 12,0566 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume Tangki} = \frac{1}{4} \pi D^2 H$$

$$425,8769 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times 2 D$$

$$425,8769 = 1,57 D^3$$

$$271,2592 = D^3 \qquad H = 2 D$$

$$D = 6,4733 \text{ ft} = 12,9467 \text{ ft}$$

$$= 77,6800 \text{ in} = 155,3601 \text{ in}$$

$$= 1,9731 \text{ m} = 3,9461 \text{ m}$$

### Menentukan volume shell

Tinggi cairan dalam evaporator :

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 Z_L$$

$$Z_L = \frac{4 \times 340,7015}{3,14 \times 41,90}$$

$$= 10,4 \text{ ft} = 3,1569 \text{ m}$$

### Menentukan tebal minimum shell :

#### Menentukan Tekanan Desain

$$P \text{ hidrostatik} = \rho \times \frac{g}{gc} \times H \text{ liq}$$

$$= 74,5560 \frac{\text{lbf}}{\text{cuft}} \times 1 \frac{\text{lbf}}{\text{lbf}} \times 10,3573 \text{ ft}$$

$$= 772,20 \text{ lbf/ft}^2 = 5,362 \text{ psi}$$

$$P \text{ design} = P_o - p_i + P \text{ hidrostatik}$$

$$= P_o - p_i + P \text{ hidrostatik bahan}$$

$$= 14,696 - 14,696 + 5,3622$$

$$= 5,3622 \text{ psi}$$

$P \text{ design}$  diambil 10% lebih besar dari  $P \text{ operasi}$  untuk faktor keamanan

$$P \text{ design} = 1,1 \times P \text{ design}$$

$$= 1,1 \times 5,3622$$

$$= 5,8984 \text{ psi}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\text{Asumsi tebal shell} = 3/8 \text{ in} \quad :$$

$$\begin{aligned} D_o &= D_i + 2 t_s \\ &= 77,680 \text{ in} + 2 \times 6/16 \\ &= 78,430 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H/D_o &= \frac{155,3601}{78,4300} & D_o/t_s &= \frac{78,43}{3/8} \\ &= 1,9809 & &= 209,1468 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor B} = 2000 \quad (\text{Brownell fig 8.9})$$

$$P_{\text{allowable}} = \frac{B}{D_o/t_s} = \frac{2000}{209,1} = 9,5627 \text{ psi}$$

$P_{\text{allowable}} > P_{\text{design}}$ , maka tebal shell 3/8 memenuhi

### Menentukan tebal minimum tutup atas (*Torispherical Dished*) :

$$\text{Asumsi tebal shell} = 1/4 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} O.D. &= I.D. + 2 t_s \\ &= 77,6800 + 2 \cdot 4/16 \\ &= 78,1800 \end{aligned}$$

$$(r_c = O.D.)$$

$$\begin{aligned} r &= \frac{r_c}{100 \cdot t_h} & \frac{r_c}{t_h} &= 100 \cdot r \\ &= \frac{78,180}{100 \times 1/4} & &= 100 \times 3,1272 \\ &= 3,1272 & &= 312,72013 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{f}{E} &= \frac{K}{2} \left( \frac{t_h}{d_o} \right)^2 & \text{Dari Brownell Fig 8.9 diperoleh} \\ & & \text{faktor B} &= 2700 \\ &= \frac{36}{2} \left( \frac{1/4}{78,1800} \right)^2 \\ &= 0,0001841 \end{aligned}$$

$$P_{\text{allowable}} = \frac{B}{r/t_h} = \frac{2700}{312,72} = 8,6339 \text{ Psi}$$

$P_{\text{allowable}} > P_{\text{design}}$ , maka tebal shell 1/4 memenuhi

$$\text{Tinggi tutup (h)} = r_c - \left( r_c^2 - \frac{D^2}{4} \right)^{0,5} \quad (\text{Hesse pg. 4 - 14})$$

$$h = 78,180 - \left( 78,180^2 - \left( \frac{77,680^2}{4} \right) \right)^{0,5}$$

$$h = 78,180 - 67,8496$$

$$h = 10,3304 \text{ in}$$

$$= 0,8609 \text{ ft}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Menentukan tebal minimum tutup bawah (*Conical Dished*) :

$$\text{Asumsi } th = 3/16 \text{ in} \quad \text{Sudut conical, } \alpha = 30^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{OD} &= Di + 2 th \\ &= 77,6800 \text{ in} + 2 \times 3/16 \\ &= 78,0550 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{Do}{\tan \alpha} \quad \frac{L}{OD} = \frac{67,59764}{78,0550} = 0,8660 \\ &= \frac{78,055}{\tan 30} \quad \frac{OD}{th} = \frac{78,0550}{3/16} = 416,2935 \\ &= 67,5976 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor B} = 850 \quad (\text{Brownell fig 8.9})$$

$$P_{\text{allowable}} = \frac{B}{Do/th} = \frac{850}{416,3} = 2,0418 \text{ psi}$$

$P_{\text{allowable}} > P_{\text{design}}$ , maka tebal *shell* 3/16 **memenuhi**

Tinggi conical

$$h = \frac{\tan \alpha \times (D - m)}{2} \quad (\text{Hesse, Pers. 4-17 Page ; 92})$$

Dimana :

$$D = \text{Diameter Bejana (ft)}$$

$$\tan \alpha = \text{Sudut Conis } 30^\circ$$

$$m = 12 \text{ in} = 1 \text{ ft} \quad (\text{Hesse, Page 85})$$

$$h = \frac{\tan \alpha \times (D - m)}{2}$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{\tan 30 \times (6,4733 - 1)}{2} \\ &= 1,5800 \text{ ft} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi :

Fungsi	=	Memekatkan larutan $\text{Na}_2\text{HPO}_4$
Type	=	<i>Standart vertical tube evaporator (Calandria)</i>
Dasar pemilihan	=	Sesuai untuk proses pemekatan larutan

### Bagian Shell :

Diameter Evaporator	=	6,4733	ft	=	1,9731	m
Tinggi Shell	=	12,9467	ft	=	3,9461	m
Tebal Shell	=	6/16	in			
Tinggi Tutup Bawah	=	1,5800	ft	=	0,4816	m
Tebal Tutup Bawah	=	3/16	in			
Tinggi Tutup Atas	=	0,8609	ft	=	0,2624	m
Tebal Tutup Atas	=	4/16	in			
Bahan Konstruksi	=	<i>Carbon Steel SA-203 grade C</i>				
Jumlah Evaporator	=	1				

### Bagian Tube :

OD	=	1½	in
BWG	=	18	
ID	=	1,4	in
Flow Area Per-tube (a't)	=	1,54	in <sup>2</sup>
Surface Per lin ft (a'')	=	0,3925	ft <sup>2</sup>
Pitch	=	1⅞	in
Panjang Tube	=	4	ft
Jumlah Tube	=	2	Buah





## Pra Rencana Pabrik

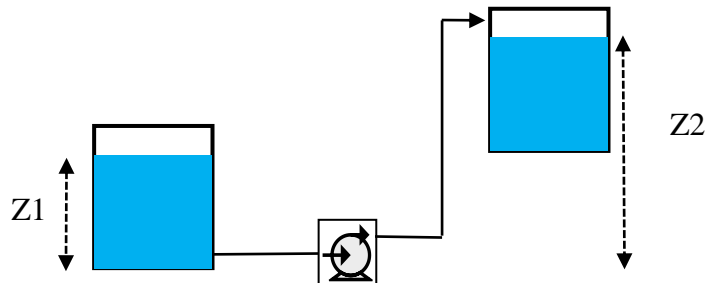
“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 16. POMPA-4 (L-311)

Fungsi = Memindahkan bahan dari Evaporator-I ke Evaporator-II

Type = *Centrifugal pump*

Dasar Pemilihan = Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid



Feed Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5128,4645	0,8000	1,5200
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	0,0308	2,5330
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0,0000	1,8340
NaCl	0,0000	0,0000	2,1630
H <sub>2</sub> O	3221,4380	0,5025	1,0000
<b>Total</b>	<b>8547,4408</b>	<b>1,3333</b>	

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho_{\text{komponen}}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft}$$

$$= \frac{1}{\frac{0,8000}{1,52} + \frac{0,0308}{2,533} + \frac{0,0000}{1,834} + \frac{0,0000}{2,163} + \frac{0,5025}{1}} \times 62,43$$

$$= 40,5026 \text{ lb/cuft}$$

**Perhitungan :** (Asumsi = Aliran Turbulen)

Bahan Masuk = 8547,4408 kg/jam = 18843,9444 lb/jam

$\rho$  reference = 62,43 lb/cuft

$\rho$  bahan = 40,5026 lb/cuft = 648,7889 kg/m<sup>3</sup>

Rate Volumetrik =  $\frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$

$$= \frac{18843,9444 \text{ lb/jam}}{40,5026 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 465,2531 \text{ cuft/jam}$$

$$= 7,7542 \text{ cuft/menit}$$

$$= 58,0056 \text{ gpm}$$

$$= 0,1292 \text{ cuft/detik} = 0,0037 \text{ m}^3/\text{detik}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Asumsi Aliran Turbulen

Di optimum untuk turbulen,  $NRe > 2100$  digunakan persamaan (15) Peters:

$$Di \text{ optimum} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

Dengan  $q_f = \text{fluid flow rate}$  (cuft/dt)

$\rho = \text{fluid density}$  (lb/cuft)

$$\begin{aligned} \text{Diameter optimum (Di)} &= 3,9 \times 0,398 \times 1,618 \\ &= 2,51 \text{ in} \quad [\text{Peters, 4ed eq. 15 pg. 496}] \end{aligned}$$

Dipilih pipa 3 in sch 40 ST 40S [Brownell app. K pg. 876]

$$OD = 3,5 \text{ in}$$

$$ID = 3,018 \text{ in} = 0,2515 \text{ ft} = 0,08 \text{ m}$$

$$A = 0,79 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan aliran, } v &= \frac{\text{Rate volumetrik cuft/menit}}{(\text{Area pipa} \times s) \text{ ft}^2 \times 60 \text{ detik}} \\ &= \frac{7,7542}{0,790 \times 60} \\ &= 0,1636 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sg \text{ bahan} &= \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference (H}_2\text{O)}} \times Sg \text{ reference} \\ &= \frac{40,5026}{62,43} \times 1 \end{aligned}$$

$$Sg \text{ bahan} = 0,6488$$

Berdasarkan  $Sg \text{ bahan}$

$$\mu \text{ reference} = 0,00085 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ bahan} &= \frac{Sg \text{ bahan}}{Sg \text{ reference (H}_2\text{O)}} \times \mu \text{ reference} \\ &= \frac{0,6488}{1} \times 0,00085 \end{aligned}$$

$$\mu \text{ bahan} = 0,0006 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} NRe &= \frac{ID \ v \ \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,25 \times 0,164 \times 40,50}{0,0006} \\ &= 3021,8440 > 2100 \text{ Asumsi turbulen } \mathbf{BENAR} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Dipilih pipa *commercial steel*

$$\varepsilon = 0,000046 \text{ m} \quad [\text{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$\varepsilon/D = \frac{0,000046}{0,0767} = 0,000600$$

$$f = 0,0060 \quad [\text{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$g_c = 32,174$$

$$a = 1 \text{ (aliran turbulen)} \quad (\text{Peters \& Timmerhause 4ed : 484})$$

$$k = 0,4 \text{ A tangki} > \text{A pipa} \quad (\text{Peters \& Timmerhause 4ed : 484})$$

Digunakan persamaan Bernoulli:

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{g_c} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha g_c} + \Sigma f$$

Perhitungan friksi berdasarkan *Peters, 4ed, Tabel 1 hal. 484*

Taksiran panjang pipa lurus = 30 ft

Panjang ekuivalen *suction*, L (*Peters 4ed; Tabel 1*)

$$\bullet 3 \text{ Elbow } 90^\circ = 3 \times 32 \times (\text{ID} = 0,25 \text{ ft}) = 24,144 \text{ ft}$$

$$\bullet 1 \text{ Globe valve} = 1 \times 300 \times (\text{ID} = 0,25 \text{ ft}) = 75,45 \text{ ft}$$

$$\bullet 1 \text{ Gate valve} = 1 \times 7 \times (\text{ID} = 0,25 \text{ ft}) = 1,7605 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang total pipa, Le} = 131,355 \text{ ft}$$

### Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{2f \times v^2 \times Le}{g_c \times D} \\ &= \frac{2 \times 0,006 \times 0,164^2 \times 131,35}{32,174 \times 0,2515} \\ &= 0,0052 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$A_1 = \text{luas penampang evaporator} = 3,9079 \text{ ft}^2$$

$$A_2 = \text{luas penampang pipa} = 3,0180 \text{ ft}^2$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{3,0180}{3,9079} = 0,772273 \text{ A evaporator} > \text{A pipa}$$

$$\alpha = 1 \text{ (untuk aliran turbule (Peters 4ed, Tabel 1 pg. 484-485))}$$

$$K_c = 0,4 (1,25 - A_2/A_1) = 0,2$$

$$\begin{aligned} f_2 &= \frac{K_c \times v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \quad (\text{Peters 4ed, Tabel 1 pg. 484-485}) \\ &= \frac{0,2 \times 0,790^2}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 0,0019 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

3. Friksi karena *enlargement* (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$\begin{aligned} f_3 &= \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} \\ &= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0) \\ &= \frac{0,164^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 0,0155 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$

4. Friksi karena *elbow* 90°

$$\begin{aligned} f_4 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \quad (Geankoplis 3ed, eq. 2.10-17 pg. 94) \\ &= 0,75 \times \frac{0,790^2}{2} \quad (Geankoplis 3ed, Tabel 2.10-1 pg. 93) \\ &= 0,2340 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$

5. Friksi karena *gate valve*

$$\begin{aligned} f_5 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \\ &= 0,17 \times \frac{0,790^2}{2} \\ &= 0,053 \text{ ft.lbf / lbm} \\ \Sigma f &= f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \\ &= 32,478 \text{ ft.lbf / lbm} \end{aligned}$$

$$1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psi} \times 144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 = 2116,8 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_1 = P \text{ hidrostatis}$$

$$\text{Tinggi bahan, H} = 10,3573 \text{ ft}$$

$$\rho \text{ bahan} = 40,5026 \text{ lb/cuft}$$

$$P \text{ hidrostatis} = \rho \times g/gc \times H$$

$$= 40,503 \text{ lb/cuft} \times 1 \times 10,357 \text{ ft}$$

$$= 419,499 \text{ lb/ft}^2$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 419,499 \text{ lb/ft}^2 + 2116,8 \text{ lb/ft}^2 \\ &= 2536,299 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_2 - P_1 \\ &= 2116,8 - 2536,3 \text{ lb/ft}^2 \\ &= 419,5 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{\rho} &= \frac{419,5}{40,50} \\ &= 10,4 \frac{\text{lb/ft}^2}{\text{lbm/ft}^3} = 10,4 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Berdasarkan H Evaporator-II

$$\text{Asumsi : } Z_2 = H \text{ liq Evaporator-II} = 2,5274 \text{ ft}$$

$$Z_1 = H \text{ liq Evaporator-I} = 10,357338 \text{ ft}$$

$$g/gc = 1 \text{ lbf/lbm}$$

$$g, \text{ percepatan gravitasi bun} = 32,2 \text{ ft/dt}^2$$

$$gc, \text{ konstanta gravitasi bun} = 32,2 \text{ ft/dt}^2 \times \text{lbm/lbf}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0,1636^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32,2} \\ = 0,0004 \text{ ft.lbf / lbm}$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times g/gc \\ \frac{\Delta Z}{gc} = (2,527 - 10,3573) \times 1 \frac{\text{ft/dt}^2}{\text{ft.lbm/dt}^2.\text{lbf}} \\ = 7,830 \frac{\text{ft} \cdot \text{lbf}}{\text{lbm}}$$

### Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F \\ = 10,4 + 7,830 + 0,0004 + 32,478 \\ = 50,666 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Sg campuran (*Himmelblau* : berdasarkan Sg bahan)

$$\text{Rate volumetrik} = 58,01 \text{ gpm}$$

$$\text{hp} = \frac{-Wf \times \text{flowrate (gpm)} \times \text{sg}}{3960} \quad [\text{Perry 6ed eq.6-11 pg.6-5}] \\ = \frac{50,666 \times 58,006 \times 0,6488}{3960} \\ = 0,4815 \text{ hp}$$

$$\text{Efisiensi pompa} = 69\% \quad (\text{Peters 4ed fig.14-37 pg. 520})$$

$$\text{Bhp} = \frac{\text{hp}}{\eta \text{ pompa}} \\ = \frac{0,4815}{69\%} \\ = 0,7 \text{ hp}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 87\% \quad (\text{Peters 4ed fig.14-38 pg. 521})$$

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Bhp}}{\eta \text{ motor}} \\ = \frac{0,6978}{87\%} \\ = 0,81 \text{ hp}$$

$$\text{digunakan power} = 1 \text{ hp}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi:

Fungsi	= Memindahkan bahan dari Evaporator-I ke Evaporator-II
Type	= <i>Centrifugal pump</i>
Dasar pemilihan	= Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	= 18843,944 lb/jam
Kecepatan aliran, v	= 0,164 ft/detik
Rate volumetrik	= 58,006 gpm
Total <i>dynamic head</i>	= 50,666 ft.lbf/lbm
Effisiensi motor	= 87%
Power motor	= 0,8 hp
Bahan konstruksi	= <i>Commercial Steel</i>
Jumlah	= 1 Buah

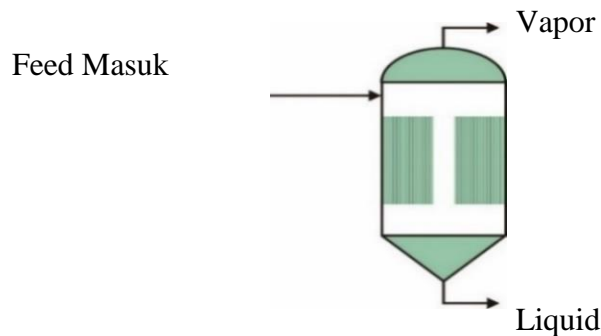


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 17. EVAPORATOR-II (V-320)

- Fungsi = Memekatkan larutan  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$   
 Type = *Standart vertical tube evaporator (Calandria)*  
 Dasar pemilihan = Sesuai untuk proses pemekatan larutan  
 Kondisi Operasi Tekanan = 0,5 atm  
 Suhu = 100 °C  
 Sistem kerja = *Continuous*



Dari neraca panas didapatkan :

$$Q_{Supply} = 5407,3844 \text{ kcal/jam}$$

$$= 21443,9191 \text{ Btu/jam}$$

Feed Masuk Evaporator

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	5128,4645	0,4451	1,5200
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	197,5383	0,0171	2,5300
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,0000	0,0000	1,8300
$\text{NaCl}$	0,0000	0,0000	2,1630
$\text{H}_2\text{O}$	3221,4380	0,2796	1,0000
<b>Total</b>	<b>8547,4408</b>	<b>0,7418</b>	

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho_{\text{komponen}}}} \times 62,43$$

$$= \frac{1}{\frac{0,445}{1,52} + \frac{0,0171}{2,53} + \frac{0,0000}{1,83} + \frac{0,0000}{2,163} + \frac{0,280}{1}} \times 62,43$$

$$= 107,7854 \text{ lb/cuft}$$

Rate Massa = 8547,4408 kg/jam  
 = 18843,9444 lb/jam

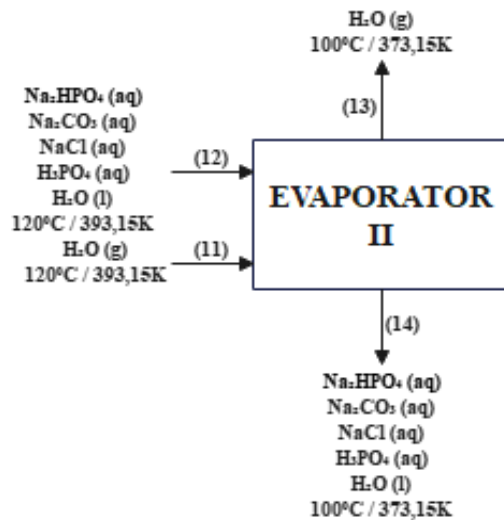
Rate Volumetrik =  $\frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$   
 =  $\frac{18843,9444 \text{ lb/jam}}{107,7854 \text{ lb/cuft}}$   
 = 174,8283 cuft/jam



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Diagram suhu :



### 1. Neraca panas :

Dari neraca massa dan neraca panas diperoleh :

Berat bahan	=	8547,4408	kg/jam
	=	18843,9444	lb/jam
Panas yang dibutuhkan, Q	=	5407,3844	kcal/jam
	=	21443,9191	Btu/jam
W steam	=	192,4076	kg/jam
	=	424,1875	lb/jam

### 2. Log Mean Temperature Diference

$t_1$	=	100 °C	=	212 °F
$t_2$	=	90 °C	=	194 °F
$T_1$	=	100 °C	=	212 °F
$T_2$	=	120 °C	=	248 °F

$$\begin{aligned} \Delta t_1 &= T_2 - t_1 & \Delta t_2 &= T_1 - t_2 \\ &= 248,0 - 212,0 & &= 212,0 - 194,0 \\ &= 36,0 \text{ °F} & &= 18,0 \text{ °F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LMTD} &= \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \\ &= \frac{18,0 - 36,0}{\ln \frac{18,0}{36,0}} = 26,0 \text{ °F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta t &= F_T \times \text{LMTD} \\ &= 1 \times 26,0 \\ &= 26,0 \text{ °F} \end{aligned}$$





### Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

#### 3. Tc dan tc dipakai temperatur rata-rata

$$\begin{aligned} T_c &= T_{av \text{ steam}} & t_c &= t_{av \text{ bahan}} \\ &= \frac{212,0 + 248,0}{2} & &= \frac{212,0 + 194,0}{2} \\ &= 230,0 \text{ } ^\circ\text{F} & &= 203,0 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dipilih tipe : *1-2 Heat Exchanger*

Digunakan *shell and tube* dengan ukuran :

OD, BWG, *pitch* = 1½ in, 18 BWG, 1⅞-in square

Panjang *Tube*, L = 4 ft

**Berdasarkan Kern; T. 10 hal. 843**

ID = 1,4 in

a' = 1,540 in<sup>2</sup>

a" = 0,3925 ft<sup>2</sup>/lin ft

*Hot Fluid* = *Steam*

*Cold Fluid* = Larutan Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> dimana μ bahan kurang dari 2 Cp

Nilai U<sub>D</sub> range = 200-700 Btu/jam.ft<sup>2</sup>°F (*Cold fluid = aqueous solution*)

(**Kern Table 8 ; Page 840**)

**Trial :**

Untuk sistem *steam* dan *aqueous solution*

Trial U<sub>D</sub> = 200 Btu/jam.ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{\Delta t_{LMTD} \times U_D} \\ &= \frac{21443,9191 \text{ Btu/jam}}{26,0 \text{ } ^\circ\text{F} \times 200 \text{ Btu/jam.ft}^2} \\ &= 4,1288 \text{ ft}^2 \\ &= 0,3836 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A}{L \times a''} \\ &= \frac{4,1288 \text{ ft}^2}{4 \text{ ft} \times 0,3925 \text{ ft}} \\ &= 3 \end{aligned}$$

Asumsi 2 *tube passes*, dari tabel 9 pg 841 kern dipilih ukuran yang paling mendekati: ¾" OD tubes on 1" square pitch

ID shell = 10 in

Passes = 2

Baffle Space = 5



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Sg bahan} &= \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times \text{Sg reference} \\ &= \frac{107,7854}{62,43} \times 1 \\ &= 1,7265 \end{aligned}$$

$\mu$  berdasarkan Sg bahan

$$\text{Sg reference} = 1 \quad [\text{Kern table 6 pg. 808}]$$

$$\mu \text{ reference} = 0,16 \text{ cp} \quad [\text{Kern fig. 14 pg. 823}]$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ bahan} &= \frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu \text{ reference} \\ &= \frac{1,7265}{1} \times 0,16 \\ &= 0,2762 \text{ cp} \\ &= 0,6685 \text{ lb/ft det} \end{aligned}$$

Koreksi koefisien  $U_D$

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 2,63 \times 4 \text{ ft} \times 0,393 \text{ ft} \\ &= 4,1288 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{D_{t_{LMTD}} \times A} \\ &= \frac{21443,9191 \text{ Btu/jam}}{26,0 \text{ }^\circ\text{F} \times 4,129 \text{ ft}^2} \\ &= 200 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{ }^\circ\text{F} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<i>Hot Fluid : Tube side, steam</i>	<i>Cold Fluid: Shell Side, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub></i>
<p><b>4. Flow Area</b></p> $a'_t = 1,540 \text{ in}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10 hal. 843)</i></p> $a_t = \frac{N_t \times a'_t}{144 \times n}$ $= \frac{2,63 \times 1,540 \text{ in}^2}{144 \times 2}$ $= 0,0141 \text{ ft}^2$ <p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_t = \frac{W_{\text{steam}}}{a_t}$ $= \frac{424,1875 \text{ lb/jam}}{0,0141 \text{ ft}^2}$ $= 30164,9197 \text{ lb/jam.ft}^2$ <p><b>6. Reynold Number</b></p> $T_c = 230 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,013 \text{ cps}$ $= 0,0315 \text{ lb/jam ft}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 15)</i></p> $D_i = 1,400 \text{ in}$ $= 0,117 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10)</i></p> $Re_{t} = \frac{D \times G_t}{\mu}$ $= \frac{0,12 \text{ ft} \times 30164,9197 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}}{0,0315 \text{ lb/ft hr}}$ $= 111863,9742$	<p><b>4. Flow Area</b></p> $C' = P_T - \text{OD Tube}$ $= 1 \text{ in} - \frac{3}{4} \text{ in}$ $= \frac{1}{4} \text{ in}$ $a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 \times P_T}$ $= \frac{10 \times \frac{1}{4} \times 5}{144 \times 1}$ $= 0,0868 \text{ ft}^2$ <p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_s = \frac{W_{\text{bahan}}}{a_s}$ $= \frac{18843,9444 \text{ lb/jam}}{0,0868 \text{ ft}^2}$ $= 217082,2395 \text{ lb/jam.ft}^2$ <p><b>6. Reynold Number</b></p> $t_c = 203,00 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,2762 \text{ cps}$ $= 0,6685 \text{ lb/ft hr}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 14)</i></p> $D_e = 0,950 \text{ in}$ $= 0,079 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p> $Re_{s} = \frac{D_e \times G_s}{\mu} \quad (\text{Kern; 7.3})$ $= \frac{0,08 \text{ ft} \times 217082,2395 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}}{0,6685 \text{ lb/ft hr}}$ $= 25707,7842$ <p><b>7. Faktor Panas (<math>j_H</math>)</b></p> $j_H = 81 \text{ Btu/lb ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<i>Hot Fluid : Tube Side, Steam</i>	<i>Cold Fluid : Shell Side, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>
	<p><b>8. Mencari <math>(c\mu/k)^{1/3}</math></b>            Pada <math>t_c = 203,00 \text{ } ^\circ\text{F}</math>  <math>c_p = 0,90 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}</math>  <i>(Kern; F. 2)</i>  <math>k = 49 \frac{\text{Btu}}{\text{j.ft.}^\circ\text{F}}</math> <i>(Kern; T. 4)</i></p> $(c\mu/k)^{1/3} = \frac{(\mu \times c)^{1/3}}{k^{1/3}}$ $= \frac{(0,6685 \times 0,90)^{1/3}}{(49)^{1/3}}$ $= 0,2341$
<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>            untuk <i>steam</i>  <math>h_{i_o} = 1500 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}</math>  <i>(Kern; pg. 164)</i></p>	<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>  <math>h_o = j_H \times (k/De) \times (c\mu/k)^{1/3} \times fs</math>  <math>h_o = 81 \times \frac{49}{0,08} \times 0,234</math>  <math>h_o = 11737,0167 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p> <p>(10') <i>Corrected coefficient</i>  <math display="block">h_o = \frac{h_o.ID}{OD}</math> <math display="block">= 880,276 \text{ Btu/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p>



**Pra Rencana Pabrik**

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<b>PRESSURE DROP</b>	
<i>Hot Fluid : Tube side, steam</i>	<i>Cold Fluid: Shell Side, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>
<p>(1) Sg bahan:            dari tabel 7 kern , spesifik volume            pada suhu 212 °F            = 6,655 ft<sup>3</sup>/lb  <math>\rho = 1 \text{ lb} / 6,655 \text{ cuft}</math>            = 0,1503 lb/ft<sup>3</sup>  <math>sg = \frac{0,15}{0,1503} = \text{#####}</math>  <math>D = 0,8333 \text{ ft}</math>  <math>sg = \text{#####}</math>  <math>Ret = \frac{Ds' \cdot Gt}{\mu}</math>            = 111863,9742  <math>f = 0,00145 \text{ ft}^2/\text{in}^2</math>  <i>[Kern; Fig.29]</i></p> <p>(2) :  <math>\Delta Pt = \frac{f \cdot Gt^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \times 10^{10} \times De \times s \times \phi t}</math>            = #VALUE! Psi  <math>\Delta P_t &lt; 10 \text{ psi}</math>            (memenuhi untuk gas)</p>	<p>(1') Sg bahan:  <math>sg = 1,7265</math>  <math>f = 0,00026 \text{ ft}^2/\text{in}^2</math> <b>[Kern, Fig.26]</b>  <math>Res = 25707,7842</math>  <math>(N+1) = \frac{12 \times L}{B}</math>            = <math>\frac{12 \times 4}{5}</math>            = 9,60</p> <p>(2') <math>DPs = \frac{f Gs^2 De (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} De s f}</math>            = 0,2082  <math>\Delta P_s &lt; 2 \text{ psi}</math>            (memenuhi untuk liquid)</p>

**13. Clean Overall Coefficient (Uc)**

$$U_c = \frac{h_{i_o} \times h_o}{h_{i_o} + h_o}$$

$$= \frac{1500 \times 880,276}{1500 + 880,276}$$

$$U_c = 554,7316 \frac{\text{Btu}}{\text{jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

**14. Dirt factor (Rd)**

$$U_D = 200 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$Rd = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$

$$Rd = \frac{554,7316 - 200}{554,7316 \times 200}$$

$$Rd \text{ cal} = 0,0032 \frac{\text{jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}{\text{Btu}}$$

$$Rd \text{ required} = 0,003$$

0.003 ≈ 0.003 untuk *heater steam* *[Kern table 12 no.8451]*



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Menentukan dimensi evaporator

$$\text{Volume campuran dalam evaporator} = 174,8283 \text{ cuft/jam}$$

$$\text{Waktu tinggal campuran} = 45 - 180 \text{ menit [Ulrich, 1984]}$$

$$\text{waktu tinggal} = 60 \text{ menit}$$

$$\text{sehingga volume bahan} = 174,82833 \text{ cuft}$$

$$\text{Asumsi bahan mengisi } 80\% \text{ volume tangki (untuk faktor keamanan)}$$

$$\text{Asumsi Volume Bahan} = 80\% \text{ volume tangki}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{174,8283 \text{ cuft}}{80\%} \\ &= 218,5354 \text{ cuft} \\ &= 6,1867 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume Tangki} = 1/4 \pi D^2 H$$

$$218,5354 = 1/4 \times 3,14 \times D^2 \times 2 D$$

$$218,5354 = 1,57 D^3$$

$$139,1945 = D^3 \qquad H = 2 D$$

$$D = 5,1825 \text{ ft} \qquad = 10,3650 \text{ ft}$$

$$= 62,1902 \text{ in} \qquad = 124,3804 \text{ in}$$

$$= 1,5796 \text{ m} \qquad = 3,1593 \text{ m}$$

### Menentukan volume shell

Tinggi cairan dalam evaporator :

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 Z_L$$

$$Z_L = \frac{4 \times 174,8283}{3,14 \times 26,86}$$

$$= 8,3 \text{ ft} = 2,5274 \text{ m}$$

### Menentukan tebal minimum shell :

#### Menentukan Tekanan Desain

$$P \text{ hidrostatik} = \rho \times \frac{g}{gc} \times H \text{ liq}$$

$$= 107,7854 \frac{\text{lbf}}{\text{cuft}} \times 1 \frac{\text{lbf}}{\text{lbf}} \times 8,2920 \text{ ft}$$

$$= 893,76 \text{ lbf/ft}^2 = 6,206 \text{ psi}$$

$$P \text{ design} = P_o - p_i + P \text{ hidrostatik}$$

$$= P_o - p_i + P \text{ hidrostatik bahan}$$

$$= 14,696 - 14,696 + 6,2063$$

$$= 6,2063 \text{ psi}$$

$P \text{ design}$  diambil 10% lebih besar dari  $P \text{ operasi}$  untuk faktor keamanan

$$P \text{ design} = 1,1 \times P \text{ design}$$

$$= 1,1 \times 6,2063$$

$$= 6,8269 \text{ psi}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\text{Asumsi tebal shell} = 3/8 \text{ in} \quad :$$

$$\begin{aligned} \text{Do} &= \text{Di} + 2 \text{ ts} \\ &= 62,190 \text{ in} + 2 \times 6/16 \\ &= 62,940 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H/Do} &= \frac{124,3804}{62,9402} & \text{Do/ts} &= \frac{62,94}{3/8} \\ &= 1,9762 & &= 167,8405 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor B} = 2000 \quad (\text{Brownell fig 8.9})$$

$$P_{\text{allowable}} = \frac{B}{\text{Do/ts}} = \frac{2000}{167,8} = 11,9161 \text{ psi}$$

$P_{\text{allowable}} > P_{\text{design}}$ , maka tebal shell 3/8 **memenuhi**

### Menentukan tebal minimum tutup atas (*Torispherical Dished*) :

$$\text{Asumsi tebal shell} = 1/4 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{OD} &= \text{ID} + 2 \text{ ts} \\ &= 62,1902 + 2 \times 4/16 \\ &= 62,6902 \end{aligned}$$

$$(r_c = \text{OD})$$

$$\begin{aligned} r &= \frac{r_c}{100 \text{ th}} & \frac{r_c}{\text{th}} &= 100 \text{ r} \\ &= \frac{62,690}{100 \times 1/4} & &= 100 \times 2,5076 \\ &= 2,5076 & &= 250,76081 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{f}{E} &= \frac{K}{2} \left( \frac{\text{th}}{\text{do}} \right)^2 & \text{Dari Brownell Fig 8.9 diperoleh} \\ & & \text{faktor B} &= 2700 \\ &= \frac{36}{2} \left( \frac{1/4}{62,6902} \right)^2 \\ &= 0,0002863 \end{aligned}$$

$$P_{\text{allowable}} = \frac{B}{r/\text{th}} = \frac{2700}{250,76} = 10,7672 \text{ psi}$$

$P_{\text{allowable}} > P_{\text{design}}$ , maka tebal shell 1/4 **memenuhi**

$$\text{Tinggi tutup (h)} = r_c - \left( r_c^2 - \frac{D^2}{4} \right)^{0,5} \quad (\text{Hesse pg. 4 - 14})$$

$$h = 62,690 - \left( 62,690^2 - \left( \frac{62,190^2}{4} \right) \right)^{0,5}$$

$$h = 62,690 - 54,4349$$

$$h = 8,2553 \text{ in}$$

$$= 0,6879 \text{ ft}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Menentukan tebal minimum tutup bawah (*Conical Dished*) :

$$\text{Asumsi } th = 3/16 \text{ in} \quad \text{Sudut conical, } \alpha = 30^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{OD} &= Di + 2 th \\ &= 62,1902 \text{ in} + 2 \times 3/16 \\ &= 62,5652 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{Do}{\tan \alpha} / 2 & \frac{L}{\text{OD}} &= \frac{54,183055}{62,5652} = 0,8660 \\ &= \frac{62,565}{\tan 30} / 2 & \frac{\text{OD}}{th} &= \frac{62,5652}{3/16} = 333,6811 \\ &= 54,1831 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor B} = 850 \quad (\text{Brownell fig 8.9})$$

$$P_{\text{allowable}} = \frac{B}{Do/th} = \frac{850}{333,7} = 2,5473 \text{ psi}$$

$P_{\text{allowable}} > P_{\text{design}}$ , maka tebal *shell* 3/16 **memenuhi**

Tinggi conical

$$h = \frac{\tan \alpha \times (D - m)}{2} \quad (\text{Hesse, Pers. 4-17 pg. 92})$$

Dimana :

$$D = \text{Diameter Bejana (ft)}$$

$$\tan \alpha = \text{Sudut Conis } 30^\circ$$

$$m = 12 \text{ in} = 1 \text{ ft} \quad (\text{Hesse, Page 85})$$

$$h = \frac{\tan \alpha \times (D - m)}{2}$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{\tan 30 \times (5,1825 - 1)}{2} \\ &= 1,2074 \text{ ft} \end{aligned}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Spesifikasi :

Fungsi	=	Memekatkan larutan $\text{Na}_2\text{HPO}_4$
Type	=	<i>Standart vertical tube evaporator (Calandria)</i>
Dasar pemilihan	=	Sesuai untuk proses pemekatan larutan

### Bagian Shell :

Diameter Evaporator	=	5,1825	ft	=	1,5796	m
Tinggi Shell	=	10,3650	ft	=	3,1593	m
Tebal Shell	=	6/16	in			
Tinggi Tutup Bawah	=	1,2074	ft	=	0,3680	m
Tebal Tutup Bawah	=	3/16	in			
Tinggi Tutup Atas	=	0,6879	ft	=	0,2097	m
Tebal Tutup Atas	=	4/16	in			
Bahan Konstruksi	=	<i>Carbon Steel SA-203 grade C</i>				
Jumlah Evaporator	=	1				

### Bagian Tube :

OD	=	1½	in
BWG	=	18	
ID	=	1,4	in
Flow Area Per-tube (a't)	=	1,54	in <sup>2</sup>
Surface Per lin ft (a")	=	0,3925	ft <sup>2</sup>
Pitch	=	1⅞	in
Panjang Tube	=	4	ft
Jumlah Tube	=	3	Buah



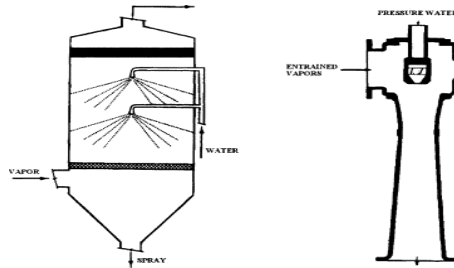
## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 18. CONDENSOR (E-312)

- Fungsi = Mengkondensasikan uap larutan dari evaporator menjadi kondensat yang ditampung *hot well*
- Tipe = *Barometrik condensor*
- Dasar pemilihan = Memiliki biaya yang murah dan luas permukaan kontak besar dan sesuai untuk kapasitas yang kecil
- Kondisi operasi
- Tekanan operasi = 0,5 atm
  - Suhu operasi = 30 °C

- Cold water in = 30 °C
- Steam in = 100 °C
- Steam out = 80 °C
- Cold water out = 45 °C



$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 14802,8094 \text{ kg/jam} \\ &= 32634,7177 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{32634,7177 \text{ lb/jam}}{62,4300 \text{ lb/cuft}} \\ &= 522,7410 \text{ cuft/jam} \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate massa} &= 32634,7177 \text{ kg/jam} \\ &= 71947,4778 \text{ lb/jam} \\ \text{Panas yang dibutuhkan, Q} &= 12498,0332 \text{ kcal/jam} \\ &= 49563,1147 \text{ Btu/jam} \\ \text{Kebutuhan Air Pendingin, W} &= 834,3202 \text{ kg/jam} \\ &= 1839,3674 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Data dari **Appendix A dan Appendix B** diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{Suhu bahan masuk } (t_1) &= 30 \text{ °C} = 86 \text{ °F} \\ \text{Suhu bahan keluar } (t_2) &= 45 \text{ °C} = 113 \text{ °F} \\ \text{Suhu steam masuk } (T_1) &= 100 \text{ °C} = 212 \text{ °F} \\ \text{Suhu steam kondensat } (T_2) &= 80 \text{ °C} = 176 \text{ °F} \\ \Delta T \text{ LMTD} &= \frac{90,0 - 99}{\ln 0,9091} \\ &= 94,4285 \text{ °F} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{36}{27} = 1,33$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{27}{126} = 0,21$$

Untuk type evaporator standart tube vertical dipilih jenis 1-2 shell & tube exchanger.

Untuk 1-2 shell & tube  $F_T = 0.75-0.8$  ( Kern, pg: 224-225 )

Dipilih  $F_T = 0,8$

$$\begin{aligned} \Delta T &= F_T \times \Delta T \text{ LMTD} \\ &= 0,8 \times 94,4285 \\ &= 75,543 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

### Tc dan tc

$T_c = T_{av} \text{ steam}$

$$T_c = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{212 + 176}{2} = 194 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$t_c = t_{av} \text{ bahan}$

$$t_c = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{86 + 113}{2} = 100 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Dalam perencanaan ini digunakan heater dengan spesifikasi :

Digunakan tube dengan ukuran :

OD, BWG = 3/4 in , 16 BWG

Pitch = 1 in square pitch

Panjang tube, L = 10 ft

Dari tabel 10 kern page 843, diperoleh :

$$ID = 0,620 \text{ in} \quad de = 0,91 \text{ in}$$

$$a't = 0,302 \text{ in}^2 \quad = 0,0758 \text{ ft}^2$$

$$a'' = 0,1623 \text{ ft}^2/\text{lin ft}$$

$$\begin{aligned} Sg \text{ bahan} &= \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times Sg \text{ reference} \\ &= \frac{62,430}{62,43} \times 1 \\ &= 1,0000 \end{aligned}$$

Dari Kern table 6 Page 808 di dapat Sg reference = 1

Dari Kern figure 14 page 812 didapat Sg reference = 0,05 C<sub>s</sub>

Program Studi S-1 Teknik Kimia

Fakultas Teknik

UPN “Veteran” Jawa Timur



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\mu \text{ bahan} &= 0,0006 \text{ lb/ft.detik} = 0,95 \text{ cP} < 2 \\ U_D &= 10 \text{ Btu/j ft}^2\text{°F} \text{ diambil } 2\text{-}50 \text{ Btu} \quad (\mu < 2 \text{ cP}) \\ &\text{(Kern : tabel 8 hal 840)}\end{aligned}$$

Digunakan 1 buah evaporator, sehingga luas perpindahan panas evaporator :

$$\begin{aligned}A &= \frac{Q}{U_D \times \Delta T} \text{ Btu/jam} \\ &= \frac{49.563,115 \text{ Btu/jam}}{10 \text{ Btu/j ft}^2\text{°F} \times 75,543 \text{ °F}} \\ &= 65,6093 \text{ ft}^2 = 6,0953 \text{ m}^2 \\ \text{Jumlah tube, } N_t &= \frac{A'}{a'' \times L} \\ &= \frac{65,6093 \text{ ft}^2}{0,16 \text{ ft}^2 \times 10} \\ &= 40 \text{ buah}\end{aligned}$$

Dipilih pipa ukuran standart : **[Kern, T-9 : 841]**

Untuk pipa 3/4 OD, 16 BWG , 1 in tringular pitch

$$\begin{aligned}\text{Digunakan } N_t &= 80 \\ \text{ID shell} &= 12 \text{ in} \\ \text{Passes (n)} &= 2 \\ \text{Baffle space} &= 5 \text{ in} \\ \text{Koreksi } U_D\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 129,8400 \text{ ft}^2 \\ U_D \text{ koreksi} &= \frac{Q}{A \times \Delta T} \\ &= \frac{49.563,115}{129,840 \times 75,543} \\ &= 5 \text{ Btu/jam.ft}^2\text{°F}\end{aligned}$$

Nilai  $U_D$  asumsi sama dengan  $U_D$  koreksi (**memenuhi**)

Fluida Dingin (Tube Side)	Fluida Panas (Shell Side)
Larutan	Vapor
(1) Flow area ( $a_t$ ) $a_t = \frac{N_t \times a_t'}{144 \times n}$ $= \frac{80 \times 0,302}{144 \times 2}$	(1) Flow area ( $a_s$ ) $C' = P_t - OD = 1/4 \text{ in}$ $a_s = \frac{ID_s \times C' \times B}{144 \times P_T}$ $= \frac{12 \times 1/4 \times 5}{144 \times P_T}$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$= 0,0839 \text{ ft}^2$$

(2) Kecepatan massa (Gt)

$$\begin{aligned} G_t &= \frac{W}{a_t} \\ &= \frac{1.839,3674}{0,0839} \\ &= 21.926,2 \text{ lb/jam ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nre_t &= \frac{G_t \times ID}{2,42 \mu} \\ &= \frac{21.926,2 \times 0,05}{2,24 \times 0,0006} \\ &= 792.234,3 \end{aligned}$$

(3') Menghitung  $h_i$

$$\begin{aligned} v &= \frac{G_t}{3600 \rho} \\ &= \frac{21.926,2334}{3600 \times 62,43} \\ &= 0,098 \text{ ft/s} \end{aligned}$$

Dari Kern Fig. 25 diperoleh  $h_i = 320 \text{ Btu/jam.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$\begin{aligned} h_{io} &= h_i \times \frac{ID}{OD} \\ &= 320 \times \frac{0,620}{3/4} \\ &= 264,53 \text{ Btu/jam.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &144 \times 1 \\ &= 0,1042 \text{ in}^2 \\ &= 0,0087 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

(2') Kecepatan massa (Gs)

$$\begin{aligned} G_s &= \frac{V}{a_s} \\ &= \frac{71.947,478}{0,0087} \\ &= 8.288.349,4 \text{ lb/jam ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nre_s &= \frac{G_s \times de}{2,42 \mu} \\ &= \frac{8288349,44 \times 0,08}{2,42 \times 0,00064} \\ &= 406.855.314,2 \end{aligned}$$

(3') Asumsi  $h_o = 200 \text{ Btu/jam.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$\begin{aligned} t_w &= t_c \frac{h_o}{(h_o + h_{io})} (T_c - t_c) \\ &= 140 \text{ } ^\circ\text{F} \\ t_f &= \frac{T_c + t_w}{2} \\ &= \frac{194 + 140,2}{2} \\ &= 167,1 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

sehingga

$$\begin{aligned} k_f &0,39 \text{ Btu/jam.ft}^2 \text{ (Kern, T.4)} \\ s_f &1 \text{ (Kern, T.6)} \\ \mu_f &0,38 \text{ cp (Kern, F.14)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G'' &= \frac{W}{\pi ID N_t} \\ &= \frac{71.947,4778}{3,14 \times 0,6 \times 40} \\ &= 914,2130 \text{ lb/jam lin ft} \end{aligned}$$



**Pra Rencana Pabrik**

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

	<p>di dapat :</p> $h_o = 180 \text{ Btu/jam.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$ <p>Karena nilai <math>h_o</math> tersebut berbeda dengan <math>h_o</math> trial, jika berbeda tidak boleh lebih dari 20%. Jika lebih dari 20% maka ulangi trial <math>h_o</math>.</p>
--	--

(12) Clean Overall Coefficient,  $U_c$  :

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$= 107,1146 \text{ Btu/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

(13) Dirt Factor,  $R_d$  :

$$R_d \text{ hitung} = \frac{U_C - U_D}{U_C \times U_D}$$

$$= 0,189 \text{ Btu/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

0,1886 > 0,003 [Kern, T-12 Page 845]

$R_d$  Hitung >  $R_d$  Ketentuan , Alat dapat digunakan

Fluida Dingin (Tube Side)	Fluida Panas (Shell Side)
(Water)	Vapor
$Re't = \frac{d_i \cdot G_t}{\mu}$ $= 1.774.604,73$	$Re's = \frac{d_e \cdot G_s}{\mu}$ $= 984.589.860,4$
$f = 0,0004 \text{ ft}^2/\text{in}^2 \text{ [Fig.26]}$ <p><b>Kern Pers. 7-45 Page 148</b></p>	$f = 0,0003 \text{ ft}^2/\text{in}^2$ <p><b>( Kern Fig. 29 Page ; 839 )</b></p>
$\Delta Pt = f G_t^2 L \cdot n$	$N+1 = 12I / R$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$= 5.22 \times 10^{10} \times D \times s \times \phi t$ $= 0,00012 \quad \text{Psi}$ $\Delta P_r = \frac{4 n}{s} \times \frac{V^2}{2 G'}$ <p>Dari <b>Kern Fig. 27 Page ; 837</b></p> $G_t = 21.926,2334 \text{ lb/jam.ft}^2$ <p>Didapat harga <math>\frac{V^2}{2 G'}</math> = 0,004</p> <p>Jadi,</p> $\Delta P_r = \frac{4 n}{s} \times \frac{V^2}{2 G'}$ $\Delta P_r = \frac{8}{1} \times 0,004$ $= 0,032 \quad \text{Psi}$ $\Delta P_T \text{ Total} = \Delta P_t + \Delta P_r$ $= 0,00012 + 0,032$ $= 0,0321$	$= 24,0$ <p>Berat Molekul = 18</p> $s = 1$ $ID = 2,034 \text{ ft}$ <p><b>Kern Pers. 12-47 Page ; 273</b></p> $\Delta P_s = \frac{1}{2} \times \frac{f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5.22 \times 10^{10} \times D_e \times s}$ $= 127,0822 \text{ psi}$
--	---

### Spesifikasi :

#### Bagian shell

ID Shell	= 1,000 ft = 0,305 m
Heat Exch. Area, A	= 65,61 ft <sup>2</sup> = 6,095 m <sup>2</sup>
Bahan	= Carbon steel
Jumlah	= 1 buah

#### Bagian tube

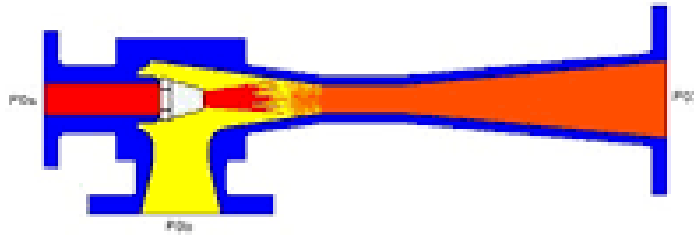
OD	= 0,750 in
BWG	= 16
ID	= 0,620 in
Flow area per tube(a't)	= 0,302 in <sup>2</sup>
Surface per lin ft (a")	= 0,162 ft <sup>2</sup>
Pitch	= 1 in triangular pitch
Panjang Tube	= 10 ft = 3,048 m
Jumlah Tube	= 40 Buah



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 19. STEAM EJECTOR (G-313)



Fungsi : Memvakumkan evaporator  
Tipe : Single stage steam jet ejector  
Dasar Pemilihan : Kemampuan vakum yang tinggi

#### Kondisi operasi

Temperatur = 100 °C = 212 F  
Tekanan vacum = 0,5 atm = 50,6625 kPa  
= 380,02 mmHg  
= 14,9614 inHg

P steam = 1 atm = 14,6960 Psig = 29,9210 inHg

P suction = 4 inHg (Ulrich, Apendix B, Hal.426)

**Perhitungan** : Berdasarkan P suction vs lb steam/ lb uap air

Tekanan masuk = 50,6625 kPa

Uap yang masuk = 21,3686 kg/jam = 47,1178 lb/jam  
(Non Condensable Gas)  
(Ludwig, Pers.6-10, Hal.371)

**Pemilihan Ukuran** (Berdasarkan suction pressure vs lb steam)

Kebutuhan steam = 35 lb steam/jam pada 90 Psig

Ukuran steam jet ejecto = 2 inch M

(Ludwig, Fig.6-26 A, Hal.373)

#### Faktor tekanan steam

Pada tekanan steam (P steam) = 14,696 Psig

Didapatkan faktor tekanan steam = 1,19

Jadi kebutuhan steam = 41,65 lb/jam

(Ludwig, Fig.6-26 B, Hal. 373)

#### Waktu evakuasi

Sistem volume = 54,6 cuft/lb x 47,1178 lb/jam  
= 2.570,2742 cuft/jam

(Ludwig, Table 6-14, Hal.379)

$$W'm = \frac{E \times V}{t}$$

W'm = 70 (Ludwig, Fig 6-28 A, Hal.375)

E = 1,3 (Ludwig, Table 6-9, Hal.374)





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$70 = \frac{1,3 \times 2.570,2742}{t}$$

$$t = 47,7337 \text{ menit}$$

Untuk mengevakuasi volume uap dengan 2 inch M steam jet ejector

Keterangan :

$W'm$  = Capacity Ejector size

$E$  = Evacuation Factors

$V$  = Volume (cuft/jar)

$t$  = Waktu

### Spesifikasi steam jet ejector

Fungsi = Memvakumkan evaporator

Bentuk = Single stage steam jet ejector

Tekanan = 0,5 atm

Kapasitas = 21,3686 kg/jam = 47,1178 lb/jam

Waktu = 47,7337 menit

Panjang = 3 in

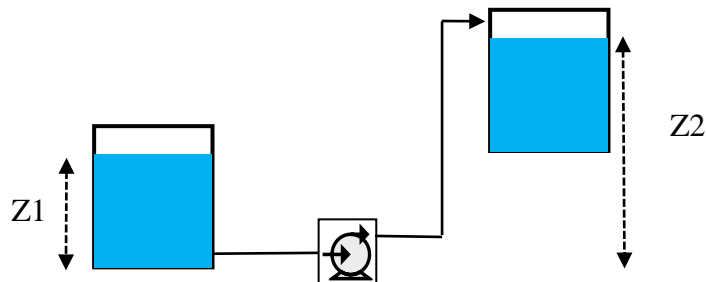
Jumlah = 1 buah

### 20. POMPA-5 (L-321)

Fungsi = Memindahkan bahan dari Evaporator-II ke Crystallizer

Type = Centrifugal pump

Dasar Pemilihan = Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid



Feed Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5.128,4645	0,8000	1,5200
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	0,0308	2,533
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0	0	1,834
NaCl	0	0	2,163
H <sub>2</sub> O	1.084,5778	0,1692	1
<b>Total</b>	<b>6.410,5806</b>	<b>1,0000</b>	



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \times 62,4 \text{ lb/cuft}$$

$$= \frac{1}{\frac{0,8000}{1,52} + \frac{0,0308}{2,533} + \frac{0,0000}{1,834} + \frac{0,0000}{2,163} + \frac{0,1692}{1}} \times 62,40$$

$$= 59,5806 \text{ lb/cuft}$$

**Perhitungan :** (Asumsi = Aliran Turbulen)

Bahan Masuk = 6.410,58 kg/jam = 14.132,96 lb/jam

$\rho$  reference = 62,4 lb/cuft

$\rho$  bahan = 59,5806 lb/cuft = 954,3890 kg/m<sup>3</sup>

Rate Volumetrik =  $\frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$

=  $\frac{14.132,9583 \text{ lb/jam}}{59,5806 \text{ lb/cuft}}$

= 237,2075 cuft/jam

= 3,9535 cuft/menit

= 29,5739 gpm

= 0,0659 cuft/detik = 0,0019 m<sup>3</sup>/detik

### Asumsi Aliran Turbulen

Di optimum untuk turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peters:

Di optimum = 3,9 x q<sub>f</sub><sup>0,45</sup> x  $\rho$ <sup>0,13</sup>

Dengan : q<sub>f</sub> = fluid flow rate ; cuft/dt

$\rho$  = fluid density ; lb/cuft

Diameter optimum (Di) = 3,9 x 0,294 x 1,701

= 1,95 in [Peters, 4<sup>ed</sup>, pers 15 hal 496]

Dipilih pipa 3 in sch 80 [Mc Cabe 5<sup>ed</sup>, appendix 5]

OD = 3,5 in

ID = 2,9 in = 0,2417 ft = 0,07 m

A = 0,0459 ft<sup>2</sup>

Kecepatan aliran, v =  $\frac{\text{Rate volumetrik cuft/menit}}{(\text{Area pipa x s}) \text{ ft}^2 \text{ x } 60 \text{ detik}}$

=  $\frac{3,9535}{0,046 \text{ x } 60}$

= 1,4365 ft/detik

Sg bahan =  $\frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times \text{Sg reference}$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$= \frac{59,5806}{62,4000} \times 1$$

$$\text{Sg bahan} = 0,9548$$

Berdasarkan Sg bahan

$$\mu \text{ reference} = 0,00085 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference (H}_2\text{O)}} \times \mu \text{ reference}$$

$$= \frac{0,9548}{1} \times 0,00085$$

$$\mu \text{ bahan} = 0,000811594 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\text{NRe} = \frac{\text{ID} \times v \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0,24 \times 1,436 \times 59,58}{0,0008}$$

$$= 25.484,71 > 2.100 \text{ Asumsi turbulen } \mathbf{BENAR}$$

Dipilih pipa commercial steel

$$\varepsilon = 0,000046 \text{ m} \quad [\text{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$\varepsilon/D = \frac{0,000046}{0,07366} = 0,000624$$

$$f = 0,0060 \quad [\text{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$g_c = 32,174$$

$$a = 1 \text{ (aliran turbulen)} \quad (\text{Peters \& Timmerhause 4}^{\text{th}} \text{ ed : 485})$$

$$k = 0,4 \text{ A tangki} > \text{A pipa} \quad (\text{Peters \& Timmerhause 4}^{\text{th}} \text{ ed : 484})$$

Digunakan persamaan Bernoulli:

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{g_c} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha g_c} + \Sigma f$$

Perhitungan friksi berdasarkan *Peters, 4ed, Tabel 1 hal. 484*

$$\text{Taksiran panjang pipa lurus} = 30 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen suction, L (Peters 4ed; Tabel 1)

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 3 Elbow } 90^\circ &= 3 \times 32 \times (\text{ID} = 0,24 \text{ ft}) \\ &= 23,200 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 1 Globe valve} &= 1 \times 300 \times (\text{ID} = 0,24 \text{ ft}) \\ &= 72,5000 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 1 Gate valve} &= 1 \times 7 \times (\text{ID} = 0,24 \text{ ft}) \\ &= 1,6917 \text{ ft} \end{aligned} \quad +$$

$$\text{Panjang total pipa, L} = 127,392 \text{ ft}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{2f \times v^2 \times L_e}{g_c \times D} \\ &= \frac{2 \times 0,006 \times 1,436^2 \times 127,39}{32,174 \times 0,2417} \\ &= 0,4057 \text{ ft.lbf/lb}_m \end{aligned}$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$\begin{aligned} A_1 &= \text{luas penampang evaporator} = 4,128831 \text{ ft}^2 \\ A_2 &= \text{luas penampang pipa} = 0,0459 \text{ ft}^2 \\ \frac{A_2}{A_1} &= \frac{0,0459}{4,1288} = 0,011110 \text{ A tangki} \gg \gg \text{A pipa} \\ \alpha &= 1 \text{ (untuk aliran turbule (Peters 4}^{ed}, \text{Tabel 1 hal 484-485))} \\ K_c &= 0,4 (1,25 - A_2/A_1) = 0,5 \\ f_2 &= \frac{K_c \times v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \text{ (Peters 4}^{ed}, \text{Tabel 1 hal 484-485)} \\ &= \frac{0,5 \times 1,436^2}{2 \times 1 \times 32,2} \\ &= 0,015891 \text{ ft.lbf/lb}_m \end{aligned}$$

3. Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$\begin{aligned} f_3 &= \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\ &= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times g_c} \text{ ; } (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0) \\ &= \frac{1,436^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,2} \\ &= 0,0155 \text{ ft.lbf/lb}_m \end{aligned}$$

4. Friksi karena elbow 90°

$$\begin{aligned} f_4 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \text{ (Geankoplis 3}^{ed}, \text{pers. 2.10-17 hal 94)} \\ &= 0,75 \times \frac{1,436^2}{2} \text{ (Geankoplis 3}^{ed}, \text{Tabel 2.10-1 hal 93)} \\ &= 0,7738 \text{ ft.lbf/lb}_m \end{aligned}$$

5. Friksi karena gate valve



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 &= 0,17 \times \frac{1,436^2}{2} \\
 &= 0,1754 \text{ ft.lbf} / \text{lb}_m \\
 \Sigma f &= f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \\
 &= 1,386 \text{ ft.lbf} / \text{lb}_m
 \end{aligned}$$

$$1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psi} \times 144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 = 2116,8 \text{ lbf}/\text{ft}^2$$

$$P_1 = P \text{ hidrostatik}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bahan, H} &= 8,2920 \text{ ft} \\
 \rho \text{ bahan} &= 59,5806 \text{ lb}/\text{cuft} \\
 P \text{ hidrostatik} &= \rho \times g/gc \times H \\
 &= 59,581 \text{ lb}/\text{cuft} \times 1 \times 8,292 \text{ ft} \\
 &= 494,044 \text{ lb}/\text{ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 494,044 \text{ lb}/\text{ft}^2 + 2116,8 \text{ lb}/\text{ft}^2 \\
 &= 2610,844 \text{ lb}/\text{ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= P_2 - P_1 \\
 &= 2116,8 - 2610,8 \text{ lb}/\text{ft}^2 \\
 &= 494,0 \text{ lb}_f/\text{ft}^2 ;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta P}{\rho} &= \frac{494,04}{59,58} \\
 &= 8,29 \frac{\text{lb}_f/\text{ft}^2}{\text{lb}_m/\text{ft}^3} \\
 &= 8,29 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lb}_m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan H Crystallizer

$$\begin{aligned}
 \text{Asumsi : } Z_2 &= H \text{ liq crystallizer} &= 14,255 \text{ ft} \\
 Z_1 &= H \text{ liq evap} &= 8,2920 \text{ ft} \\
 g/gc &= 1 \text{ lbf}/\text{lb}_m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 g, \text{ percepatan gravitasi bumi} &= 32,2 \text{ ft}/\text{dt}^2 \\
 gc, \text{ konstanta gravitasi bumi} &= 32,2 \text{ ft}/\text{dt}^2 \times \text{lb}_m/\text{lb}_f
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta v^2}{2 \times a \times gc} &= \frac{1,4365^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32,2} \\
 &= 0,0320 \text{ ft.lbf} / \text{lb}_m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Z \frac{g}{gc} &= (Z_2 - Z_1) \times g/gc \\
 \frac{\Delta Z}{gc} &= (14,255 - 8,2920) : 1 \text{ ft}/\text{dt}^2
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$= 5,963 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}_f}{\text{lb}_m}$$

### Persamaan Bernoulli

$$\begin{aligned} -W_f &= \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F \\ &= 8,29 + 5,963 + 0,0320 + 1,386 \\ &= 15,673 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}_f}{\text{lb}_m} \end{aligned}$$

Sg campuran (Himmelblau : berdasarkan Sg bahan)

Rate volumetrik = 29,574 gpm

$$\begin{aligned} \text{hp} &= \frac{-W_f \times \text{flowrate (gpm)} \times \text{sg}}{3960} \quad [\text{Perry } 6^{\text{ed}} ; \text{pers.6-11} ; \text{hal.6-5}] \\ &= \frac{15,673 \times 29,574 \times 0,9548}{3960} \\ &= 0,1118 \text{ hp} \end{aligned}$$

Effisiensi pompa = 45% (Peters 4<sup>ed</sup> ; fig.14-37) pp 520

$$\begin{aligned} \text{Bhp} &= \frac{\text{hp}}{\eta \text{ pompa}} \\ &= \frac{0,1118}{45\%} \\ &= 0,25 \text{ hp} \end{aligned}$$

Effisiensi motor = 88% (Peters 4<sup>ed</sup> ; fig.14-38) pp 521

$$\begin{aligned} \text{Power motor} &= \frac{\text{Bhp}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,2484}{88\%} \\ &= 0,28 \text{ hp} \end{aligned}$$

digunakan power = 0,2822 hp



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi:

Fungsi	= Memindahkan bahan dari Evaporator-II ke Cryztallizer
Type	= Centrifugal pump
Dasar pemilihan	= Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	= 14.133 lb/jam
Kecepatan aliran, $v$	= 1,436 ft/detik
Rate volumetrik	= 29,574 gpm
Total dynamic head	= 15,673 ft.lbf/lb <sub>m</sub>
Effisiensi motor	= 88%
Power motor	= 0,3 hp
Bahan konstruksi	= Commercial Steel
Jumlah	= 1 Buah



## Pra Rencana Pabrik

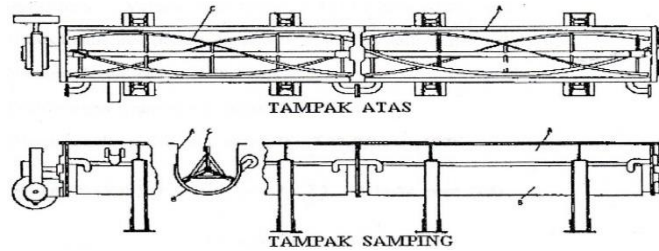
“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 20. CRYSTALLIZER (S-330)

Fungsi = Kristalisasi larutan disodium fosfat dengan pendinginan.

Type = Swenson-Walker Crystallizer.

Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk kristalisasi dengan pendinginan.



Feed Masuk Crystallizer

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5.128,4645	0,8	1,52
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	197,5383	0,030814418	2,53
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0	0	1,83
NaCl	0	0	2,163
H <sub>2</sub> O	1.084,5778	0,169185582	1
<b>Total</b>	<b>6.410,5806</b>	<b>1</b>	

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \times 62,4$$

$$= \frac{1}{\frac{0,8000}{1,52} + \frac{0,0308}{2,53} + \frac{0,0000}{1,83} + \frac{0,0000}{2,163} + \frac{0,1692}{1}}$$

$$= 88,1753 \text{ lb/cuft}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 6.410,5806 \text{ kg/jam} \\ &= 14.132,958 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{14.132,958 \text{ lb/jam}}{88,1753 \text{ lb/cuft}} \\ &= 160,2825 \text{ cuft/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu Kristalisasi} = 1 \text{ Jam}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\text{Volume Bahan} &= \text{Rate Volumetrik} \times \text{Waktu kristalisasi} \\ &= 160,2825 \times 1 = 1,4286 \\ &= 160,2825 \text{ cuft}\end{aligned}$$

Direncanakan volume bahan mengisi 70% volume crystallizer maka volume crystallizer:

$$\begin{aligned}\text{Volume Crystallizer} &= \frac{160,2825}{70\%} \\ &= 228,9750 \text{ cuft} \quad 6,482280841\end{aligned}$$

Untuk kontinuitas proses, digunakan 2 buah crystallizer, yang disusun secara paralel

$$\text{Volume masing-masing crystallizer} = 228,9750 \text{ cuft}$$

**Dimensi Crystallizer** (Hugot, Persm. 34.7 Page 733)

$$\text{Digunakan dimension ratic } m = L/D = 3,33$$

$$\text{Volume crystallizer} = \frac{m \times D^3}{2} \times (1 + \pi/4)$$

$$228,9750 = \frac{3,33 \times D^3}{2} \times (1 + \pi/4)$$

$$228,9750 = 1,665 D^3 \times 1,785$$

$$D = 4,2551 \text{ ft} = 1,2970 \text{ m}$$

$$L = 14,1696 \text{ ft} = 4,3189 \text{ m}$$

**Luas Cooling area pada crystallizer**

$$S = V \times \frac{(2 + 4m)}{m \times D} \quad (\text{Hugot, Pers. 34.8 Page 733})$$

$$= 228,9750 \times \frac{2 + (4 \times 3,33)}{3,33 \times 4,2551}$$

$$= 228,9750 \times 1,0812$$

$$= 247,5658 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$$

**Power pengaduk pada Swenson-Walker Crystallizer**

Power yang digunakan adalah 16 hp tiap 1000 cuft bahan

$$\text{Volume bahan} = 228,9750 \text{ cuft} \quad (\text{Hugot, Page 730})$$

$$\text{Power crystallizer} = \frac{228,9750}{1000} \times 16$$

$$= 3,6636 \text{ Hp} \approx 4 \text{ Hp}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi Crystallizer :

Fungsi	=	Kristalisasi larutan disodium fosfat dengan pendinginan.
Type	=	Swenson-Walker Crystallizer.
Dasar Pemilihan	=	Umum digunakan untuk kristalisasi dengan pendinginan.
Waktu Operasi	=	1 jam
Kapasitas	=	160,2825 cuft
Diameter	=	4,2551 ft = 1,2969607 m
Panjang	=	14,1696 ft = 4,318879 m
Luas Cooling Area	=	247,5658 ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup>
Power	=	4 hp
Jumlah Crystallizer	=	2 buah (secara paralel; 1 buah standby running)



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 21. CENTRIFUGE (H-340)

Fungsi = Memisahkan kristal disodium fosfat dengan mother liquor

Type = Disk Bowls Centrifuge (automatic continous dish cake)

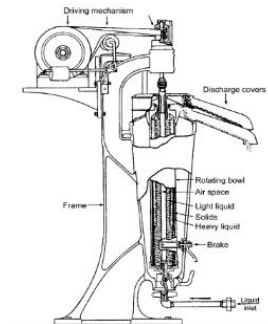
Dasar Pemilihan = Sesuai dengan jenis bahan, efisiensi tinggi.

#### Kondisi Operasi :

Tekanan = 1 atm

Suhu = 30 °C

Waktu proses = Continous



#### Feed Masuk Centrifuge

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
$\text{Na}_2\text{HPO}_4(\text{aq})$	102,5693	0,016	1,679
$\text{Na}_2\text{HPO}_4(\text{s})$	5.025,8952	0,784	1,5200
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	197,5383	0,030814418	2,53
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0	0	1,83
$\text{NaCl}$	0	0	2,163
$\text{H}_2\text{O}$	1.084,5778	0,169185582	1
<b>Total</b>	<b>6.410,5806</b>	<b>1</b>	

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho_{\text{komponen}}}} \times 62,4$$

$$= \frac{1}{\frac{0,0160}{1,679} + \frac{0,7840}{1,520} + \frac{0,0308}{2,53} + \frac{0,0000}{1,83} + \frac{0,0000}{2,163} + \frac{0,1692}{1}}$$

$$= 88,299702 \text{ lb/cuft}$$

Rate Massa = 6.410,5806 kg/jam

= 14.132,958 lb/jam



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{14132,9583 \text{ lb/jam}}{88,2997} \text{ lb/cuft} \\ &= 160,0567 \text{ cuft/jam} \\ &= 2,6676 \text{ cuft/menit} \quad 19,9551 \text{ gal/mnt} \\ &= 19,9551 \text{ gpm} \end{aligned}$$

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 Z_L$$

$$\begin{aligned} Z_L &= \frac{4 \times 200,0709}{3,14 \times 13,00} \\ &= 19,6 \text{ ft} = 5,9757 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari Perry edisi 8 tabel 18-12 hal 18-121, berdasarkan rate volumetrik (gallon per minutes), dipilih spesifikasi centrifuge sebagai berikut :

### Spesifikasi :

- Fungsi = Memisahkan kristal disodium fosfat dengan mother liquor  
Type = Disk Bowls Centrifuge (automatic continous dish cake)  
Dasar Pemilihan = Sesuai dengan jenis bahan, efisiensi tinggi.

### Dimensi :

- Kapasitas centrifuge = 160,0567 cuft/jam  
Kapasitas maksimum = 50  
Diameter Bowl = 13  
Speed = 7.500  
Centrifuge Force = 10.400  
Power Motor = 6 Hp  
Bahan = Stainless Steel  
Jumlah = 1 buah

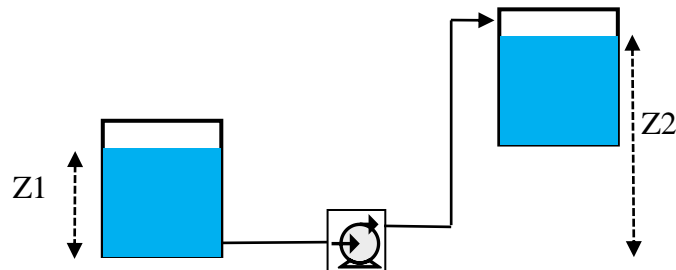


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 22. POMPA-6 (L-342)

- Fungsi = Memindahkan mother liquor dari centrifuge ke reaktor  
 Type = Centrifugal pump  
 Dasar Pemilihan = Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid



Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	97,4408	0,0741	1,52
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	187,6614	0,1427	2,53
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0	0	1,83
NaCl	0	0	2,163
H <sub>2</sub> O	1.030,3489	0,7833	1
<b>Total</b>	<b>1.315,4511</b>	<b>1,0000</b>	

**Perhitungan :** (Asumsi = Aliran Turbulen)

$$\text{Bahan Masuk} = 1.315,451 \text{ kg/jam} = 2.900,08 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ reference} = 62,43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ bahan} = 70,2735 \text{ lb/cuft} = 1.125,6728 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{2.900,0830 \text{ lb/jam}}{70,2735 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 41,2685 \text{ cuft/jam}$$

$$= 0,6878 \text{ cuft/menit}$$

$$= 5,1452 \text{ gpm}$$

$$= 0,0114635 \text{ cuft/detik} = 0,0003245 \text{ m}^3/\text{detik}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Asumsi Aliran Turbulen

Di optimum untuk turbulen,  $NRe > 2100$  digunakan persamaan (15) Peters:

$$Di \text{ optimum} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

Dengan :  $q_f$  = fluid flow rate ; cuft/dt

$\rho$  = fluid density ; lb/cuft

$$\begin{aligned} \text{Diameter optimum (Di)} &= 3,9 \times 0,134 \times 1,738 \\ &= 0,91 \text{ in } [Peters, 4^{ed}, \text{pers } 15 \text{ hal } 496] \end{aligned}$$

Dipilih pipa 2 in sch 80 [Mc Cabe 5<sup>ed</sup>, appendix 5]

$$OD = 2,375 \text{ in}$$

$$ID = 1,939 \text{ in} = 0,16 \text{ ft} = 0,0493 \text{ m}$$

$$A = 0,0205 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan aliran, } v &= \frac{\text{Rate volumetrik cuft/menit}}{(\text{Area pipa} \times s) \text{ ft}^2 \times 60 \text{ detik}} \\ &= \frac{0,6878}{0,0205 \times 60} \\ &= 0,5592 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sg \text{ bahan} &= \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference (H}_2\text{O)}} \times Sg \text{ reference} \\ &= \frac{70,2735}{62,4300} \times 1 \end{aligned}$$

$$Sg \text{ bahan} = 1,1256$$

Berdasarkan Sg bahan

$$\mu \text{ reference} = 0,0009 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ bahan} &= \frac{Sg \text{ bahan}}{Sg \text{ reference (H}_2\text{O)}} \times \mu \text{ reference} \\ &= \frac{1,1256}{1} \times 0,00085 \end{aligned}$$

$$\mu \text{ bahan} = 0,000956791 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\begin{aligned} NRe &= \frac{ID \times v \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,16 \times 0,559 \times 70,27}{0,0010} \\ &= 6.636,418 > 2.100 \text{ Asumsi turbulen } \mathbf{BENAR} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Dipilih pipa commercial steel

$$\varepsilon = 0,000046 \text{ m} \quad [\text{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$\varepsilon/D = \frac{0,000046}{0,0492506} = 0,000934$$

$$f = 0,0060 \quad [\text{Geankoplis 3ed, fig.2.10-3 : 88}]$$

$$g_c = 32,174$$

$$a = 1 \text{ (aliran turbulen)} \quad (\text{Peters \& Timmerhause 4}^{th} \text{ ed : 485})$$

$$k = 0,4 \text{ A tangki} > \text{A pipa} \quad (\text{Peters \& Timmerhause 4}^{th} \text{ ed : 484})$$

Digunakan persamaan Bernoulli:

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{g_c} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha g_c} + \Sigma f$$

Perhitungan friksi berdasarkan *Peters, 4ed, Tabel 1 hal. 484*

$$\text{Taksiran panjang pipa lurus} = 35 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang ekuivalen suction, L} \quad (\text{Peters 4ed; Tabel 1})$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 3 Elbow } 90^\circ &= 3 \times 32 \times (\text{ID} = 0,16 \text{ ft}) \\ &= 15,512 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 1 Globe valve} &= 1 \times 300 \times (\text{ID} = 0,16 \text{ ft}) \\ &= 48,4750 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 1 Gate valve} &= 1 \times 7 \times (\text{ID} = 0,16 \text{ ft}) \\ &= 1,1311 \text{ ft} \end{aligned} \quad +$$

$$\text{Panjang total pipa, L} = 100,118 \text{ ft}$$

### Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{2f \times v^2 \times L_e}{g_c \times D} \\ &= \frac{2 \times 0,006 \times 0,559^2 \times 100,118}{32,174 \times 0,1616} \\ &= 0,0723 \text{ ft.lbf} / \text{lb}_m \end{aligned}$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$\begin{aligned} f_2 &= \frac{K_c \times v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \quad (\text{Peters 4}^{ed}, \text{ Tabel 1 hal 484-485}) \\ &= \frac{0,4 \times 0,559^2}{2 \times 1 \times 32,2} \\ &= 0,0019438 \text{ ft.lbf} / \text{lb}_m \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

3. Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$\begin{aligned}
 f_3 &= \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} \\
 &= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad ; (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0) \\
 &= \frac{0,559^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,2} \\
 &= 0,0049 \text{ ft.lbf/lb}_m
 \end{aligned}$$

4. Friksi karena elbow 90°

$$\begin{aligned}
 f_4 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \quad (\text{Geankoplis 3}^{ed}, \text{ pers. 2.10-17 hal 94}) \\
 & \quad K_f = 0,75 \\
 &= 0,75 \times \frac{0,559^2}{2} \quad (\text{Geankoplis 3}^{ed}, \text{ Tabel 2.10-1 hal 93}) \\
 &= 0,1173 \text{ ft.lbf/lb}_m
 \end{aligned}$$

5. Friksi karena gate valve

$$\begin{aligned}
 f_5 &= k_f \times \frac{v^2}{2} \\
 &= 0,17 \times \frac{0,559^2}{2} \\
 &= 0,0266 \text{ ft.lbf/lb}_m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma f &= f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \\
 &= 0,223 \text{ ft.lbf/lb}_m
 \end{aligned}$$

$$1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psi} \times 144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 = 2116,8 \text{ lbf/ft}^2$$

$$P_1 = P \text{ hidrostatis}$$

$$\text{Tinggi bahan, H} = 4,2551 \text{ ft}$$

$$\rho \text{ bahan} = 70,2735 \text{ lb/cuft}$$

$$P \text{ hidrostatis} = \rho \times g/gc \times H$$

$$= 70,273 \text{ lb/cuft} \times 1 \times 4,255 \text{ ft}$$

$$= 299,022 \text{ lb/ft}^2$$

$$P_1 = 299,022 \text{ lb/ft}^2 + 2116,8 \text{ lb/ft}^2$$

$$= 2415,822 \text{ lb/ft}^2$$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$= 2116,8 - 2415,8 \text{ lb/ft}^2$$

$$= 299,0 \text{ lb/ft}^2 :$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{\rho} &= \frac{299,02}{70,27} \\ &= 4,26 \frac{\text{lb}_f/\text{ft}^2}{\text{lb}_m/\text{ft}^3} \\ &= 4,26 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}_f}{\text{lb}_m} \end{aligned}$$

Berdasarkan H Crystallizer

$$\begin{aligned} \text{Asumsi : } Z_2 &= H \text{ liq centrifuge} &= 19,605 \text{ ft} \\ Z_1 &= H \text{ liq reaktor} &= 10,1506 \text{ ft} \\ g/gc &= 1 \text{ lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g, \text{ percepatan gravitasi bumi} &= 32,2 \text{ ft/dt}^2 \\ gc, \text{ konstanta gravitasi bumi} &= 32,2 \text{ ft/dt}^2 \times \text{lb}_m/\text{lb}_f \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} &= \frac{0,5592^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32,2} \\ &= 0,0049 \text{ ft} \cdot \text{lb}_f / \text{lb}_m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Z \frac{g}{gc} &= (Z_2 - Z_1) \times g/gc \\ \Delta Z \frac{g}{gc} &= (19,605 - 10,1506) \times 1 \frac{\text{ft/dt}^2}{\text{ft} \cdot \text{lb}_m / \text{dt}^2 \cdot \text{lb}_f} \\ &= 9,455 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}_f}{\text{lb}_m} \end{aligned}$$

### Persamaan Bernoulli

$$\begin{aligned} -Wf &= \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F \\ &= 4,26 + 9,455 + 0,0049 + 0,223 \\ &= 13,938 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}_f}{\text{lb}_m} \end{aligned}$$

Sg campuran (Himmelblau : berdasarkan Sg bahan)

$$\text{Rate volumetrik} = 5,145 \text{ gpm}$$

$$\begin{aligned} \text{hp} &= \frac{-Wf \times \text{flowrate (gpm)} \times sg}{3960} \quad [\text{Perry } 6^{ed}; \text{ pers.6-11 ; hal.6-5}] \\ &= \frac{13,938 \times 5,145 \times 1,1256}{3960} \\ &= 0,0204 \text{ hp} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Effisiensi pompa = 22% (*Peters 4<sup>ed</sup> ; fig.14-37*) pp 520

$$\begin{aligned} \text{Bhp} &= \frac{\text{hp}}{\eta \text{ pompa}} \\ &= \frac{0,0204}{22\%} \\ &= 0,0926541 \text{ hp} \end{aligned}$$

Effisiensi motor = 82% (*Peters 4<sup>ed</sup> ; fig.14-38*) pp 521

$$\begin{aligned} \text{Power motor} &= \frac{\text{Bhp}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,0926541}{82\%} \\ &= 0,1129928 \text{ hp} \end{aligned}$$

digunakan power = 0,11299 hp

### Spesifikasi:

Fungsi	= Memindahkan Mother liquor dari centrifuge ke reaktor
Type	= Centrifugal pump
Dasar pemilihan	= Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	= 2900,083 lb/jam
Kecepatan aliran (v)	= 0,559 ft/detik
Rate volumetrik	= 5,145 gpm
Total dynamic head	= 13,938 ft.lbf/lb <sub>m</sub>
Effisiensi motor	= 82%
Power motor	= 0,1 hp
Bahan konstruksi	= <i>Commercial Steel</i>
Jumlah	= 1 Buah

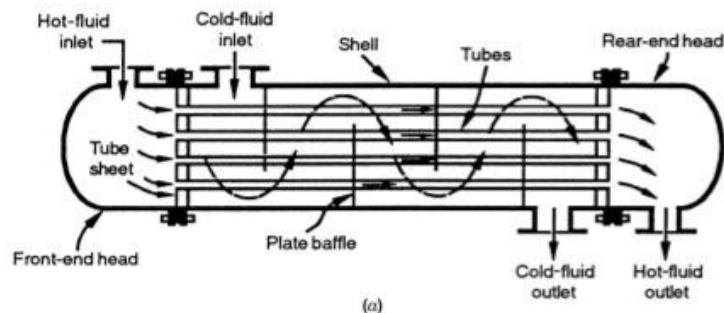


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

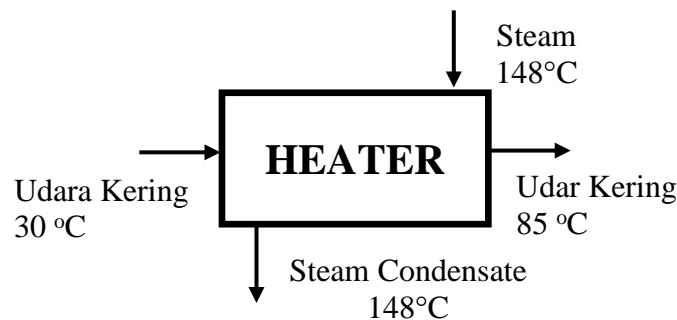
### 23. HEATER-3 (E-343)

- Fungsi = Memanaskan aliran *recycle* menjadi 85°C  
Tipe = 1-2 Shell and Tube Heat Exchanger (Fixed Tube)  
Dasar Pemilihan = Umum digunakan pada range perpindahan panas  
Kondisi Operasi =  
Tekanan = 1 atm  
Suhu = 85 °C  
Waktu proses = Continue



Perhitungan :

**Diagram suhu :**



**Neraca panas :**

Dari neraca massa dan neraca panas diperoleh :

Berat bahan	=	1315,4511	kg/jam
	=	2900,0830	lb/jam
Panas yang dibutuhkan, Q	=	54807,2344	kkal/jam
	=	217347,5768	BTU/jam
W steam	=	2,2150	kg/jam
	=	4,8833	lb/jam



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 1 Log Mean Temperature Diference

Temperatur bahan

$$t_1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 86 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 85 \text{ } ^\circ\text{C} = 185 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Temperature steam

$$T_1 = 148 \text{ } ^\circ\text{C} = 298,40 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 148 \text{ } ^\circ\text{C} = 298,40 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ Dt}_1 &= T_2 - t_1 & \text{Dt}_2 &= T_1 - t_2 \\ &= 298,4 - 86,0 & &= 298,4 - 185,0 \\ &= 212,4 \text{ } ^\circ\text{F} & &= 113,4 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LMTD} &= \frac{\text{Dt}_2 - \text{Dt}_1}{\ln \frac{\text{Dt}_2}{\text{Dt}_1}} \\ &= \frac{113,4 - 212,4}{\ln \frac{113,4}{212,4}} \\ &= 157,8 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dt} &= F_T \times \text{LMTD} \\ &= 1 \times 157,8 \\ &= 157,8 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

### 3 $T_c$ dan $t_c$ dipakai temperature rata-rata

$$\begin{aligned} T_c &= T_{\text{av steam}} & t_c &= t_{\text{av bahan}} \\ &= \frac{298,4 + 298,4}{2} & &= \frac{86,0 + 185,0}{2} \\ &= 298,4 \text{ } ^\circ\text{F} & &= 135,5 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dipilih tipe : 1-2 Heat Exchanger

Digunakan shell and tube dengan ukuran :

OD, BWG, pitch = 3/4 in, 16 BWG, 1-in square

Panjang Tube, L = 8 ft

**Berdasarkan Kern; T. 10 hal. 843**

ID = 0,620 in

a't = 0,302 in<sup>2</sup>

a" = 0,1963 ft<sup>2</sup>/ft panjang



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Hot Fluid : Steam

Cold Fluid : Larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dimana  $\mu$  bahan kurang dari 2 Cp

Nilai  $U_D$  range = 200-700 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F (Cold fluid = Light Organics)  
(Kern Table 8 ; Page 840)

### Trial:

Untuk sistem steam dan aqueous solution

$$\text{Trial } U_D = 200 \text{ Btu/j.ft}^2$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{D_{t_{LMTD}} \times U_D} \\ &= \frac{217.347,5768 \text{ BTU/jam}}{157,8 \text{ }^\circ\text{F} \times 200 \text{ Btu/j.ft}^2} \\ &= 6,889 \text{ ft}^2 \\ &= 0,640 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A}{L \times a''} \\ &= \frac{6,8887 \text{ ft}^2}{8 \text{ ft} \times 0,1963 \text{ ft}} \\ &= 4,39 \end{aligned}$$

Asumsi 2 tube passes, dari tabel 9 pg 843 kern dipilih ukuran yang paling mendekati: 3/4" OD tubes on 1" square pitch

ID shell = 10 in

Passes = 2

Baffle Space = 5

$\mu$   $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  = lb/ft det

Koreksi koefisien  $U_D$

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 4,39 \times 8 \text{ ft} \times 0,196 \text{ ft} \\ &= 6,8887 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{D_{t_{LMTD}} \times A} \\ &= \frac{217.347,5768 \text{ BTU/jam}}{157,8 \text{ }^\circ\text{F} \times 6,889 \text{ ft}^2} \\ &= 200,000 \text{ Btu/j.ft}^2 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Hot Fluid : Tube side, steam	Cold Fluid: Shell Side, bahan
<p><b>4. Flow Area</b></p> $a_t = 0,302 \text{ in}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10 hal. 843)</i></p> $a_t = \frac{N_t \times a'_t}{144 \times n}$ $= \frac{4,39 \times 0,302 \text{ in}^2}{144 \times 2}$ $= 0,0046 \text{ ft}^2$	<p><b>4. Flow Area</b></p> $C' = P_T - \text{OD Tube}$ $= 1 \text{ in} - \frac{3}{4} \text{ in}$ $= \frac{1}{4} \text{ in}$ $a_s = \frac{\text{ID} \times C' \times B}{144 \times P_T}$ $= \frac{10 \times \frac{1}{4} \times 5}{144 \times 1}$ $= 0,0868$
<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_t = \frac{W_{\text{steam}}}{a_t}$ $= \frac{4,883 \text{ lb/jam}}{0,0046 \text{ ft}^2}$ $= 1.061,6346 \text{ lb/jam.ft}^2$	<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_s = \frac{W_{\text{bahan}}}{a_s}$ $= \frac{2900,0830 \text{ lb/jam}}{0,08681 \text{ ft}^2}$ $= 33.408,957 \text{ lb/jam.ft}^2$
<p><b>6. Reynold Number</b></p> $T_c = 298,40 \text{ F}$ $\mu = 0,0130 \text{ cps}$ $= 0,0315 \text{ lb/jam ft}^2$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 15)</i></p> $D_i = 0,620 \text{ in}$ $= 0,052 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; T. 10)</i></p> $Re_{t} = \frac{D \times G_t}{\mu}$ $= \frac{0,05 \text{ ft} \times 1.061,6346 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}}{0,031 \text{ lb/ft hr}}$ $= 1.743,52$	<p><b>6. Reynold Number</b></p> $t_c = 135,50 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,55 \text{ cps}$ $= 1,3310 \text{ lb/ft hr}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 14)</i></p> $D_e = 0,950 \text{ in}$ $= 0,079 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p> $Re_{s} = \frac{D_e \times G_s}{\mu} \quad \text{(Kern; 7.3)}$ $= \frac{0,08 \text{ ft} \times 33.408,957 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}}{1,331 \text{ lb/ft hr}}$ $= 1.987,134$
	<p><b>7. Faktor Panas (<math>j_H</math>)</b></p> $j_H = 2 \text{ Btu/lb ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ <p style="text-align: center;"><i>(Kern; F. 28)</i></p>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Hot Fluid : Tube Side, Steam	Clod Fluid : Shell Side, bahan
	<p><b>8. Mencari <math>(cm/k)^{1/3}</math></b>            Pada <math>t_c = 135,50 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p> <p><math>c = 0,90 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}</math>  <i>(Kern; F. 2)</i></p> <p><math>k = 0,33 \frac{\text{Btu}}{\text{j.ft.}^\circ\text{F}}</math></p> <p><math>(cm/k)^{1/3} = \frac{(m \times c)^{1/3}}{k^{1/3}}</math>  <math>= \frac{(1,3310 \times 0,90)^{1/3}}{(0,33)^{1/3}}</math>  <math>= 1,5303</math></p>
<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>            untuk steam  <math>h_{i_o} = 1500 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}</math>  <i>(Kern; 164)</i></p>	<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>  <math>h_o = j_H \times (k/De) \times (cm/k)^{1/3} \times fs</math>  <math>\frac{h_o}{fs} = 2 \times \frac{0,33}{0,08} \times 1,530</math>  <math>\frac{h_o}{fs} = 12,758 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p>
<p>(10) <math>tw^*</math>  <math>tw = t_c + \frac{h_{i_o}}{h_{i_o} + h_o} (T_c - t_c)</math>  <math>= 136 + \frac{1500}{1512,758} \times 99</math>  <math>= 233,67 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p>	<p>(10') Pada <math>tw = 233,67 \text{ } ^\circ\text{F}</math>  <math>\mu_w = 2 \mu_{water} \text{ [Fig.14]}</math>  <math>= 0,5 \text{ cps}</math>  <math>= 1,21 \text{ lb / jam.ft}</math>  <math>\phi_s = (\mu/\mu_w)^{0,14}</math>  <math>= 1,0134 \text{ lb / jam.ft}</math></p>
	<p>(11') Corrected coefficient  <math>h_o = \frac{h_o \cdot \phi_s}{\phi_s}</math>  <math>= 12,929 \text{ Btu/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p>



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<b>PRESSURE DROP</b>	
<b>Hot Fluid : Tube side, steam</b>	<b>Cold Fluid: Shell Side, bahan</b>
<p>(1) Flow area (<math>a_s</math>) dari tabel 7 kern, spesifik volume pada suhu 298,4 <math>6,65 \text{ ft}^3/\text{lb}</math> <math>\rho = 1 \text{ lb}/ 6,65 \text{ cuft}</math> <math>= 0,1504 \text{ lb}/\text{ft}^3</math> <math>\text{sg} = \frac{0,15}{62,5} = 0,0024</math> <math>D = 0,8333 \text{ ft}</math> <math>\text{sg} = 0,002</math> <math>\text{Ret} = \frac{Ds' \cdot Gt}{\mu}</math> <math>= 1.743,52</math> <math>f = 0,0145 \text{ ft}^2/\text{in}^2</math> <b>[Kern; Fig.26]</b></p> <p>(2) :</p> $\Delta P_t = \frac{f \cdot Gt^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \times 10^{10} \times D_t \times s \times \phi t}$ $= 0,040 \text{ Psi}$ <p><math>\Delta P_t &lt; 10 \text{ psi}</math> (memenuhi untuk gas)</p>	<p>(1') Sg bahan: <math>\text{sg} = 1,1256</math> <math>f = 0,04 \text{ ft}^2/\text{in}^2</math> <b>[Fig.29]</b> <math>\text{Res} = 1.987,134</math> <math>(N+1) = \frac{12 \times L}{B}</math> <math>= \frac{12 \times 8}{5}</math> <math>= 19,20</math></p> <p>(2') <math>\text{DPs} = \frac{f Gs^2 De (N+1)}{5,22 \times 10^{10} De s f}</math> <math>= 2,3277</math> <math>\Delta P_s &lt; 10 \text{ psi}</math> (memenuhi untuk liquid)</p>

### 13. Clean Overall Coefficient $U_c$

$$U_c = \frac{h_{i_o} \times h_o}{h_{i_o} + h_o}$$

$$= \frac{1500 \times 12,929}{1500 + 12,929}$$

$$U_c = 12,82 \frac{\text{Btu}}{\text{j} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 14. Dirt factor $R_d$

$$U_D = DtLMTD$$

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$

$$R_d = \frac{12,819 - 157,756}{12,819 \times 157,756}$$

$$R_d \text{ cal} = -0,0717 \frac{\text{j.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}{\text{Btu}}$$

$$R_d \text{ required} = 0,003$$

$$-0,0717 > 0,003 \text{ untuk heater steam}$$

#### Spesifikasi :

Fungsi = Untuk memanaskan aliran recycle sampai suhu 85°C

Tipe = 1-2 Shell and Tube Heat Exchanger (Fixed Tube)

Dasar pemilihan = Umum digunakan dan mempunyai range perpindahan panas yang besar

Tube = OD = 3/4 in, 10 BWG

Panjang = 8,00 ft

Pitch = 1 in square pitch

Nt = 4,39 buah

passes = 2

Shell = ID = 4,39 in

passes = 2,000

Heat exch. area, A = 6,889 ft<sup>2</sup>

Jumlah heat exchanger = 1 buah



## Pra Rencana Pabrik

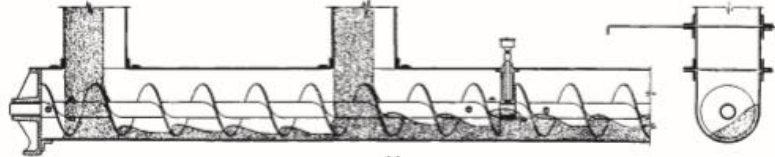
“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 24. SCREW CONVEYOR-2 (J-341)

Fungsi = Memindahkan bahan dari centrifuge ke rotary dryer

Type = Plain spots or chutes

Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup



#### Feed Masuk Screw Conveyor :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
$\text{Na}_2\text{HPO}_{4(\text{aq})}$	5,1285	0,001006543	1,679
$\text{Na}_2\text{HPO}_{4(\text{s})}$	5.025,8952	0,986411676	1,5200
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	9,8769	0,001938501	2,53
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0	0	1,83
$\text{NaCl}$	0	0	2,163
$\text{H}_2\text{O}$	54,2289	0,01064328	1
<b>Total</b>	<b>5.095,1295</b>	<b>1</b>	

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \times 62,4$$

$$= \frac{1}{\frac{0,0010}{1,679} + \frac{0,9864}{1,520} + \frac{0,0019}{2,53} + \frac{0,0000}{1,83} + \frac{0,0000}{2,163} + \frac{0,0106}{1}}$$

$$= 94,407559 \text{ lb/cuft}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 5.095,1295 \text{ kg/jam} \\ &= 11.232,875 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{11.232,875 \text{ lb/jam}}{94,4076 \text{ lb/cuft}} \\ &= 118,9828 \text{ cuft/jam} \\ &= 1,9830 \text{ cuft/menit} \\ &= 14,8342 \text{ gpm} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{11.232,875 \text{ lb/jam}}{94,40755865 \text{ lb/cuft}} \\ &= 118,9828 \text{ cuft/jam} \\ &= 1,9830 \text{ cuft/menit} \\ &= 14,8342 \text{ gpm} \end{aligned}$$

$$F = 4 \quad [\text{Badger, Tabel 16-6}]$$

$$\text{Power Motor} = \frac{C \cdot L \cdot W \cdot F}{33.000} \quad [\text{Badger, pers. 16-4}]$$

Keterangan :

- C = Kapasitas ; cuft/menit
- L = Panjang ; ft
- W = Densitas bahan ; lb/cuft
- F = Faktor bahan

$$\begin{aligned} \text{Asumsi Panjang Conveyor, } L &= 30 \text{ ft} \\ &= 9,14 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power Motor} &= \frac{1,9830 \times 30 \times 94,407559 \times 4}{33.000} \\ &= 0,6808 \text{ hp} \end{aligned}$$

Untuk power hp <2, maka dikalikan 2 (*Badger : 713*)

$$\begin{aligned} \text{Power Motor} &= 0,6808 \times 2 \\ &= 1,3616 \text{ hp} \end{aligned}$$

Efisiensi Motor = 80% maka,

$$\begin{aligned} \text{Power Motor} &= \frac{1,3616}{80\%} \\ &= 1,7020 \\ &\approx 2 \text{ hp} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Dari *Perry 7<sup>ed</sup>*, *Tabel 21-6 hal 21-8*, berdasarkan kapistas didapatkan :

Kapasitas maksimum	=	5 ton/jam
Diameter flight	=	9 in
Diameter pipa	=	2 1/2 in
Diameter of shaft	=	2 in
Hanger center	=	10 ft
Diameter feed section	=	6 in
Kecepatan screw conveyor	=	40 rpm

### Spesifikasi :

Fungsi	=	Memindahkan bahan dari centrifuge ke rotary dryer
Type	=	Plain spots or chutes
Dasar Pemilihan	=	Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup
Kapasitas	=	5.095,1295 kg/jam
Rate Volumetrik	=	14,8342 gpm
Diameter flight	=	9 in
Diameter pipa	=	2 1/2 in
Diameter of shaft	=	2 in
Kecepatan (rpm)	=	40
Elevasi	=	Horizontal
Panjang	=	30 ft
Efisiensi	=	80%
Power	=	2 hp
Jumlah	=	1 buah

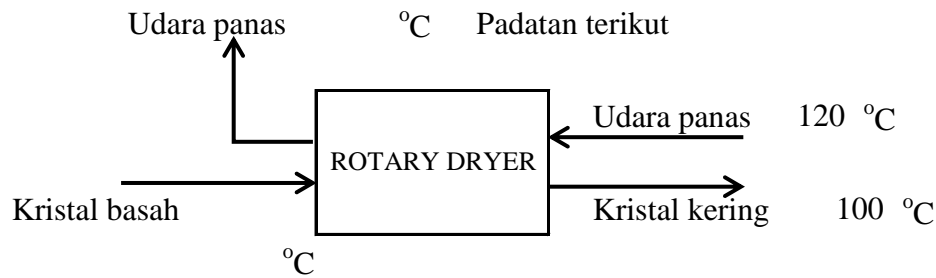


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 25. ROTARY DRYER (B-350)

- Fungsi = Mengeringkan kristal Disodium Fosfat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) sehingga kadar air berkurang dengan bantuan udara panas
- Tipe = Rotary Dryer dengan pengering udara panas langsung
- Dasar pemilihan = Sesuai untuk pengeringan bahan padatan
- Kondisi operasi**
- Tekanan : 1 atm
  - Suhu : 120 °C
  - Waktu proses : Time of passes



Dari neraca massa dan neraca panas :

$$\begin{aligned}\text{Feed masuk} &= 5.095,1295 \text{ kg/jam} \\ &= 11.232,875 \text{ lb/jam} \\ \text{Total panas} &= 516.789,5617 \text{ kkal/jam} \\ &= 130.315,7230 \text{ Btu/jam}\end{aligned}$$

#### Perhitungan:

$$\begin{aligned}\text{Suhu bahan masuk} &= 30 \text{ °C} = 86 \text{ °F} \\ \text{Suhu bahan keluar} &= 100 \text{ °C} = 212 \text{ °F} \\ \text{Suhu udara masuk} &= 120 \text{ °C} = 248 \text{ °F} \\ \text{Suhu udara keluar} &= 100 \text{ °C} = 212 \text{ °F} \\ \Delta T_{\text{LMTD}} &: \\ \Delta t_1 &= 248 - 212 = 36 \text{ °F} \\ \Delta t_2 &= 212 - 86 = 126 \text{ °F}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{LMTD} &= \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \\ &= \frac{126 - 36}{\ln \frac{126}{36}} \\ &= \frac{90}{1,25} \\ &= 71,8 \text{ °F} = 295 \text{ K}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Asumsi solid velocity,  $u_s = 0,020$  m/detik [Ulrich, tabel 4-10]

$$\text{Area aliran solid, } A_s = \frac{m_s}{\rho_s \times u_s}$$

dengan :  $A_s =$  Area drum yang dilewati solid ;  $m^2$   
 $m_s =$  Rate solid ; kg/detik  
 $\rho_s =$  Densitas solid ;  $kg/m^3$   
 $u_s =$  Solid velocity ; m/detik

Rate solid = 5.095,13 kg/jam = 1,4153 kg/detik  
 $\rho$  solid = 94,41 lb/cuft = 1.512,2640  $kg/m^3$   
 $u_s = 0,020$  m/detik

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{m_s}{\rho_s \times u_s} \\ &= \frac{1,4153}{1.512,264 \times 0,02} \\ &= 0,0468 \text{ m}^2 = 0,5037 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Dari tabel 4-10 Ulrich asumsi 10% bagian drum terisi solid

$$\begin{aligned} \frac{A_s}{10\%} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 && \text{(Perry 7}^{ed} \text{ : 12-55)} \\ \frac{0,047}{10\%} &= \frac{3,14}{4} \times D^2 \\ D^2 &= 0,5961 \text{ m}^2 \\ &= 0,7721 \text{ m} \\ &\approx 1 \text{ m} = 2,53 \text{ ft} \end{aligned}$$

**Perhitungan koefisien volumetrik heat transfer,  $U_a$  :**

$$U_a = \frac{240 \times G^{0,67}}{D} \quad \text{[Ulrich, T.4-10]}$$

dengan :  $U_a =$  Koefisien volumetrik heat transfer ;  $J/m^3 \cdot \text{detik} \cdot K$   
 $G =$  Average mass flux (0,5-5) ;  $kg/detik \cdot m^2$   
 $D =$  Diameter dryer ; m  
 $G = 2,6$   $kg/detik \cdot m^2$   
 $D = 0,77$  m



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 U_a &= \frac{240 \times G^{0,67}}{D} \\
 &= \frac{240 \times 2,6^{0,67}}{1} \\
 &= 589,631 \text{ J/m}^3 \cdot \text{detik.K}
 \end{aligned}$$

### Perhitungan panjang rotary drum dryer :

$$Q = U_a \times V \times \Delta T \quad [\text{Perry 7}^{\text{ed}}, \text{ pers. 12-51}]$$

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \quad (\text{Volume silinder})$$

dengan :  $Q$  = Panas total ; J/detik

$U_a$  = Koefisien volumetrik heat transfer ;  $\text{J/m}^3 \cdot \text{detik.K}$

$V$  = Volume drum ;  $\text{m}^3$

$\Delta T$  = Log mean temperature difference ; K

$D$  = Diameter drum ; m

$L$  = Panjang drum ; m

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \\
 &= \frac{3,14}{4} \times 0,60 \text{ m} \times L
 \end{aligned}$$

$$V = 0,46795 \text{ L}$$

### Total panas :

$$Q = 516.789,5617 \text{ kkal/jam}$$

$$U_a = 589,6315 \text{ J/m}^3 \cdot \text{detik.K}$$

$$D = 0,77 \text{ m} = 2,5331 \text{ ft}$$

$$\Delta T = 295,2840 \text{ K}$$

$$Q = U_a \times V \times \Delta T$$

$$516.789,5617 = 589,6315 \times 0,4679453 \text{ L} \times 295,2840$$

$$L = 6,343048654$$

### Perhitungan panjang rotary drum dryer :

Perbandingan L/D dryer = 4 - 10 (Perry 7<sup>ed</sup> : 12-54)

$$\frac{L}{D} = \frac{6}{0,7721}$$

$$L = 8 \text{ D}$$

$$= 6,343 \text{ m} = 20,811 \text{ ft}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Putaran Rotary Dryer

$$N = \frac{V}{\pi \times D}$$

Dimana :

N = Putaran rotary dryer, rpm

V = Kecepatan pheripheral dari putaran dryer, 15-30 m/menit

diambil  $v = 0,25 \text{ m/detik} = 49,2125 \text{ ft/menit}$

D = Diameter luar rotary dryer, m

= 2,5331 m

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan Putar (N)} &= \frac{49,2125}{\pi \times 2,53} \\ &= 6,1873 \text{ rpm} \\ &= 6 \text{ rpm} \end{aligned}$$

### Perhitungan time of passes :

$$\Theta = \frac{0,23 \text{ L}}{S N^{0,9} D} \pm 0,6 \frac{B L G}{F} \quad (\text{Perry } 7^{\text{ed}} : 12-55)$$

tanda (+) untuk aliran counter-current

$$B = 5 (D_p)^{-0,5}$$

dengan  $\Theta$  = Time of passes ; menit

L = Panjang drum ; ft

S = Slope drum ; ft/ft

N = Speed ; rpm

D = Diameter drum ; ft

B = Konstanta material

G = Rate massa udara ; lb/jam.ft<sup>2</sup>

F = Rate solid ; lb solid/jam.ft<sup>2</sup>

D<sub>p</sub> = Ukuran partikel ;  $\mu\text{m}$

Ketentuan :

S = Slope drum ; 0 - 8 cm/m (Perry 7<sup>ed</sup> : 12-56)

G = Rate massa udara ; Maksimum 5 kg/m<sup>2</sup>.detik

Asumsi antara 0,5-5 kg (Perry 7<sup>ed</sup> : 12-56)

F = Rate solid ; kg solid/jam.m<sup>2</sup>

Asumsi :

D<sub>p</sub> = Ukuran partikel = 10 mesh = 1680  $\mu\text{m}$

G = Rate massa udara = 2,6000 kg/m<sup>2</sup>.detik

= 1.917,0855 lb/ft<sup>2</sup>.jam

S = Slope drum = 0,020 ft/ft

N = Speed = 6 rpm





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} B &= 5 (Dp)^{-0,5} \\ &= 5 \times (1680)^{-0,5} \\ &= 0,1220 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{drum}} &= 0,0468 \text{ m}^2 \\ F &= \frac{\text{Rate masuk}}{A_s / \text{Asumsi terisi solid}} \text{ lb/jam} \\ F &= \frac{11.232,8753 \text{ lb/jam}}{5,0369 \text{ ft}^2} \\ &= 2.230,11 \text{ lb/jam.ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Theta &= \frac{0,23 \text{ L}}{S \text{ N}^{0,9} \text{ D}} \pm 0,6 \frac{B \text{ L G}}{F} \\ &= \frac{4,7864}{0,2612} + 0,6 \frac{1.483,3884}{2.230,11} \\ &= 19 \text{ menit} = 0,312 \text{ Jam} \end{aligned}$$

### Perhitungan sudut rotary drum :

$$\begin{aligned} \text{Slope} &= 0,020 \text{ ft/ft} \\ \text{Panjang drum} &= 20,811 \text{ ft} \\ \text{Slope actual} &= 0,020 \text{ ft/ft} \times 20,811 \text{ ft} \\ &= 0,42 \text{ ft} \\ &= 0,13 \text{ m} \\ \text{tg } \alpha &= 0,02 \\ \text{Sudut rotary, } \alpha &\approx 1,1458^\circ \end{aligned}$$

### Perhitungan flight rotary drum :

Perhitungan berdasarkan Perry 7<sup>ed</sup>, 12-56 :

$$\begin{aligned} \text{Ketentuan : Tinggi flight} &= 1/12 \text{ D} - 1/8 \text{ D} \\ \text{Panjang flight} &= 0,6 \text{ m} - 2 \text{ m} \\ \text{Jumlah flight tiap 1 circle} &= 2,4 \text{ D} - 3 \text{ D} \end{aligned}$$

Pengambilan data :

$$\begin{aligned} \text{Tinggi flight} &= 1/8 \times \text{D} \\ &= 1/8 \times 0,77 \\ &= 2/5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah flight tiap 1 circle} &= 3 \times \text{D} \\ &= 3 \times 1 \\ &= 2,32 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Total circle} &= \frac{\text{Panjang drum}}{\text{Panjang flight}} \\ &= \frac{20,8105}{2} \\ &= 10,4 \text{ buah} \approx 10 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total jumlah flight} &= \text{Total circle} \times \text{Jumlah flight tiap 1 circle} \\ &= 10,41 \times 3 \\ &= 31 \text{ buah} \end{aligned}$$

### Perhitungan tebal shell drum :

Rotary drum memakai shell dari Carbon Steel SA-283 Grade C dengan stress allowable 12650 psi (**Perry 8<sup>ed</sup>, Tabel 6-57 : 6-691**).

untuk las dipakai double welded butt joint dengan efisiensi 0,8

Faktor korosi : C = 1/8

Perbanding:

$$\text{(Perry 5<sup>ed</sup>, tabel 6-52 : 6-87)} \quad H/D = 0,16$$

$$D = 0,77 = 2,5331 \text{ ft}$$

$$H = 0,16 \times D$$

$$= 0,16 \times 2,53$$

$$= 0,4053 \text{ ft}$$

$$\rho = 94,4076 \text{ lb/cuft}$$

$$P_B = \frac{r \rho_B \text{ g/gc}}{2 \mu' k'} (1 - e^{-2 \mu' k' Z_T/r}) \quad \text{(Mc.Cabe; pers. 26-25 hal 813)}$$

dengan :

$P_B$  = Tekanan vertikal pada dasar.

$\rho_B$  = Bulk density bahan

$\mu'$  = Koefisien gesek = 0,35 - 0,55 diambil = 0,5

$k'$  = Ratio tekanan normal = 0,35 - 0,6

(Mc.Cabe 3 ed; hal 811 )

$$k' = \frac{1 - \sin \alpha}{1 + \sin \alpha}$$

$$= \frac{1 - \sin 26}{1 + \sin 26}$$

$$= \frac{1 - 0,44}{1 + 0,44}$$

$$= 0,39 \text{ (sesuai dengan ketentuan)}$$

$Z_T$  = Tinggi total material dalam tangki, asumsi tinggi bahan yaitu 15% tinggi drum (**Ulrich T.4-10**)

$$= 15\% \times 0,41$$

$$= 0,06 \text{ ft}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}
 r &= \text{Jari-jari tangki; ft} \\
 r &= 0,5 \times D \\
 &= 0,5 \times 2,5331 \\
 &= 1,2665 \text{ ft} \\
 P_B &= \frac{r \rho B \text{ g/gc}}{2 \mu' k'} (1 - e^{-2 \mu' k' ZT/r}) \\
 &= \frac{119,5706}{0,3905} \times 0,01856762 \\
 &= 306,2288 \times 0,0186 \\
 &= 5,6859 \text{ lb/ft}^2 \\
 &= 0,0395 \text{ Psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan Lateral, } P_L &= k' \times P_B \\
 &= 0,3905 \times 0,0395 \\
 &= 0,0154 \text{ Psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ operasi} &= P_B + P_L \\
 &= 0,0395 + 0,0154 \\
 &= 0,0549 \text{ Psi}
 \end{aligned}$$

Untuk faktor keamanan, digunakan 10% tekanan berlebih

$$\begin{aligned}
 P \text{ desain} &= 1,1 \times 0,0549 \\
 &= 0,0604 \text{ Psi}
 \end{aligned}$$

Dipakai double welded butt joint 80% = 0,8

Diameter drum = 0,77 m = 2,5331 ft

$$t_{s_{\min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \quad [\text{Brownell, pers. 13-1, hal 254}]$$

Dimana :

$t_{s_{\min}}$  = tebal shell minimum ; in

$P$  = tekanan tangki ; psi

$r_i$  = jari-jari tangki ; in (1/2 D)

$C$  = faktor korosi ; in (digunakan 1/8 in)

$E$  = faktor pengelasan, digunakan double welded,  $E = 0,8$

$f$  = allowable stress, bahan konstruksi Carbon Steel SA-283 Grade C  
maka,  $f_{\text{all}} = 12.650 \text{ psi}$  [Brownell, T.13-11]

Asumsi tebal shell = 5/16 in

$$\begin{aligned}
 t_{s_{\min}} &= \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \\
 5/16 \text{ in} &= \frac{0,0604 \text{ psi} \times 15,19844}{12,650 - 0,6 \times 0,0604} + 1/8 \text{ in}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$3/16 \text{ in} = \frac{0,9179 \text{ psi in}}{f \cdot 0,8 - 0,0362 \text{ psi in}}$$

$$f = \frac{6,0740 \text{ psi}}{}$$

$f$  hitung **lebih kecil** dari pada  $f$  allowable,  
jadi tebal shell 5/16 **DAPAT DIGUNAKAN**

### Isolasi :

Batu isolasi dipakai setebal = 4 in [Perry 7<sup>ed</sup> : 12-42]  
= 0,33 ft

Diameter dalam rotary = 2,5331 ft

Diameter luar rotary = ID + 2 x ts  
= 2,5331 + ( 2 x 5/16 )  
= 3,1581 ft

Maka diameter rotary terisolasi = OD + ( 2 x tebal isolasi )  
= 3,1581 + 2 x 0,33 )  
= 3,8247 ft

### Perhitungan berat total : (Brownell n Young)

#### a) Berat shell

$$W_e = \frac{\pi}{4} \times (D_o^2 - D_i^2) \times L \times \rho$$

dengan :

$D_o$  = Diameter luar shell = 3,1581 ft

$D_i$  = Diameter dalam shell = 2,5331 ft

$L$  = Panjang drum = 6,3430 m  
= 20,811 ft

$\rho$  = Densitas steel = 19 lb/cuft

$$W_e = \frac{\pi}{4} \times (D_o^2 - D_i^2) \times L \times \rho$$

$$= 1.104,043 \text{ lb}$$

#### b) Berat Isolasi

$$W_e = \frac{\pi}{4} \times (D_o^2 - D_i^2) \times L \times \rho$$

dengan :

$D_o$  = Diameter luar isolasi = 3,8247 ft

$D_i$  = Diameter dalam isolasi = 3,1581 ft

$L$  = Panjang isolasi = 6,343 m  
= 20,81 ft

$\rho$  = Densitas isolasi = 19 lb/cuft

(Perry 6<sup>ed</sup> • 3.206)



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} We &= \frac{\pi}{4} \times (Do^2 - Di^2) \times L \times \rho \\ &= 1.444,9257 \text{ lb} \end{aligned}$$

c) Untuk solid hold up = 15% [Ulrich : T.4-10]

$$\text{Rate massa} = 11.232,8753 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Berat bahan} = 11.232,8753 \text{ lb}$$

$$\text{Berat total} = \text{Berat shell} + \text{Berat isolasi} + \text{Berat bahan}$$

$$= 1.104,043 + 1.444,9257 + 11.232,8753$$

$$= 13.781,844 \text{ lb}$$

Berat lain diasumsikan 15%, maka berat total

$$= 1,15 \times 13.781,844 \text{ lb}$$

$$= 15.849,121 \text{ lb} \approx 15.849 \text{ lb}$$

**Power yang dibutuhkan :**

$$hp = \frac{N \times (4,75dw + 0,1925DW + 0,33W)}{100.000} \quad [\text{Perry } 7^{\text{ed}}, \text{ pers.12-60}]$$

dengan :

N = Putaran rotary	;	6	rpm
d = Diameter shell	;	2,5331	ft
w = Berat bahan	;	11.232,8753	lb/jam
D = d + 2	;	4,5331	ft
W = Berat total	;	15.849	lb

$$\text{maka} = \frac{954.170,4768}{100.000}$$

$$\text{hp} = 9,541704768$$

$$= 10 \text{ hp}$$

Dengan efisiensi motor = 75% [Perry 6<sup>ed</sup>, pers.20-37]

$$P = \frac{10 \text{ hp}}{75\%}$$

$$= 13 \text{ hp}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi :

Fungsi	=	Mengeringkan kristal Disodium Fosfat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) sehingga kadar air berkurang dengan bantuan udara panas
Tipe	=	Rotary Dryer dengan pengering udara panas langsung
Dasar Pemilihan	=	Sesuai untuk pengeringan bahan padatan
Kapasitas	=	5.095,1295 kg/jam = 11232,87526 lb/jam
Isolasi	=	Batu isolasi
Diameter	=	0,77 m = 0,2353 ft
Panjang	=	6,3430 m = 1,9334 ft
Tebal isolasi	=	4 in
Tebal shell	=	5/16 in
Tinggi bahan	=	0,3925 ft
Sudut rotary	=	1,1457628 °
Time of passes	=	19 menit
Jumlah flight	=	31 buah
Power	=	13 hp
Jumlah	=	1 buah
Bahan Kontruksi	=	Carbon Steel SA-283 Grade C

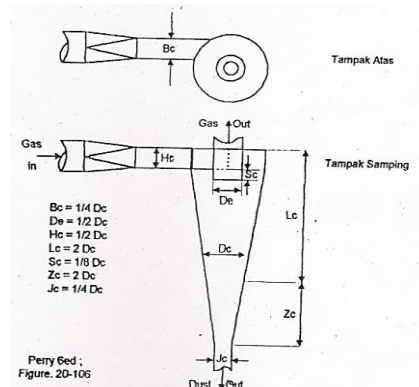


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 26. CYCLONE (H-355)

- Fungsi = Memisahkan padatan yang terikut udara  
 Type = Van Tongeren Cyclone  
 Dasar pemilihan = Efektif dan sesuai dengan jenis bahan.  
 Kondisi operasi =  
 Tekanan : 1 atm  
 Suhu : 108,95 °C = 687,78 K



#### Perhitungan:

Rate udara = 46.139,9825 lb/jam

BM udara = 28,8 kg/kmol

BM udara standart = 359 kg/kmol

Menentukan densitas campuran (udara + padatan): [Himmelblau : 249]

pada P = 1 atm

T = 109 °C = 688 °R

Udara standart

T = 25 °C = 537 °R

P = 1 atm

$$\rho = \frac{T_{\text{udara standart}}}{T_{\text{gas CO}_2}} \times \frac{P_{\text{gas CO}_2}}{P_{\text{udara standart}}} \times \frac{BM_{\text{udara campuran}}}{BM_{\text{udara standart}}}$$

$$= \frac{537}{688} \times \frac{1}{1} \times \frac{28,8}{359}$$

$$= 0,0627 \text{ lb/cuft}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\rho \text{ campuran}} \\ &= \frac{46.139,9825}{0,0627} \\ &= 736.068,617 \text{ cuft/jam} \\ &= 204,4635 \text{ cuft/detik} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Feed Masuk Cyclone

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (s)	50,3102	0,002393081	1,679
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,0988	4,6981E-06	2,5330
H <sub>2</sub> O Uap	44,1203	0,002098649	1
Udara Panas	20.928,6740	0,995503572	169,8096
<b>Total</b>	<b>21.023,2033</b>	<b>1</b>	

$$\begin{aligned}\text{Rate massa solid} &= 21.023,203 \text{ kg/jam} \\ &= 46.348,38 \text{ lb/jam} \\ &= 12,8746 \text{ lb/detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ solid} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \\ &= 106,5158 \text{ lb/cuft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa solid}}{\rho \text{ solid}} \\ \text{solid} &= \frac{12,8746}{106,5158} \\ &= 0,1209 \text{ cuft/detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate massa H}_2\text{O uap} &= 44,1203 \text{ kg/jam} \\ &= 97,2690 \text{ lb/jam} \\ &= 0,0270 \text{ lb/detik}\end{aligned}$$

$$\rho \text{ H}_2\text{O} = 62,43 \text{ lb/cuft}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik gas} &= \frac{\text{Rate massa H}_2\text{O uap}}{\rho \text{ H}_2\text{O}} \\ &= \frac{0,0270}{62,4300} \\ &= 0,0004 \text{ cuft/detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total rate volumetrik bahan} &= 204,4635 + 0,1209 + 0,0004 \\ &= 204,5848 \text{ cuft/detik}\end{aligned}$$

$$\text{Asumsi time of passes} = 2 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume bahan} &= 204,5848 \text{ cuft/detik} \times 2 \text{ detik} \\ &= 409,1696 \text{ cuft}\end{aligned}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Berdasarkan Ulrich, T.4-23  $H/D = 4 - 6$  dipilih  $H/D = 6$

$$\text{Volume bahan} = 1/4 \pi D^2 H$$

$$409,1696 = 1/4 \pi D^2 \cdot 6 D$$

$$409,1696 = 4,71 D^3$$

$$D^3 = 86,8725 \text{ ft}$$

$$D = 4,4289 \text{ ft} = 53,1466 \text{ in}$$

$$D_c = 53,1466 \text{ in} \quad [\text{Perry 6ed : 20-86}]$$

$$B_c = 1/4 D_c = 13,2866 \text{ in}$$

$$D_e = 1/2 D_c = 26,5733 \text{ in}$$

$$H_c = 2 B_c = 26,5733 \text{ in}$$

$$L_c = 2 D_c = 106,2932 \text{ in}$$

$$S_c = 1/8 D_c = 6,6433 \text{ in}$$

$$Z_c = 2 D_c = 106,2932 \text{ in}$$

$$J_c = 1/4 D_c = 13,2866 \text{ in}$$

$$D_{p_{\min}} = \left[ \frac{9 \mu B_c}{\pi N_{tc} V_c (\rho_s - \rho)} \right]^{0,5}$$

dengan :  $D_{p_{\min}}$  = Diameter partikel minimum

$$\mu_{\text{uap}} = 2E-05 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\rho_{\text{solid}} = 106,52 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho_{\text{gas}} = 0,0627 \text{ lb/cuft}$$

$$B_c = 13,287 \text{ in}$$

$$= 1,1072 \text{ ft}$$

$$\text{Area cyclone} = 2 \times B_c^2$$

$$= 2 \times 1,1072^2$$

$$= 2,4519 \text{ ft}^2$$

$$N_{tc} = 10 \text{ Perry 6}^{\text{ed}} \text{ hal 20-86}$$

$$\text{Kecepatan bahan, } V_c = \frac{\text{Total volumetrik bahan}}{\text{Area cyclone}}$$

$$= \frac{204,5848}{2,4519}$$

$$= 83,4401 \text{ ft/detik}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$D_{p_{\min}} = \left[ \frac{9 \mu Bc}{\pi N_{tc} V_c (\rho_s - \rho)} \right]^{0,5}$$

$$= \left[ \frac{9 \times 2E-05 \times 1,1072}{3,14 \times 10 \times 83,4401 \times 106,453} \right]^{0,5}$$

$$= 0,000028 \text{ ft}$$

### Menentukan tebal minimum shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank

$$t_{s_{\min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \quad [\text{Brownell, pers. 13-1, hal 254}]$$

Dimana :

$t_{s_{\min}}$  = tebal shell minimum ; in

$P$  = tekanan tangki ; psi

$r_i$  = jari-jari tangki ; in (1/2 D)

$C$  = faktor korosi ; in (digunakan 1/8 in)

$E$  = faktor pengelasan, digunakan double welded,  $E = 0,8$

$f$  = allowable stress, bahan konstruksi Carbon Steel SA-283 Grade C

maka,  $f = 12.650 \text{ psi}$  [Brownell, T.13-11]

Asumsi tebal shell = 3/16 in

$$t_{s_{\min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C$$

$$3/16 \text{ in} = \frac{14,7000 \text{ psi} \times 26,573295}{f \cdot 0,8 - 8,8200 \text{ psi}} + 1/8 \text{ in}$$

$$1/16 \text{ in} = \frac{390,6274 \text{ psi in}}{f \cdot 0,8 - 8,8200 \text{ psi}}$$

$$f = 7.801,5237 \text{ psi}$$

$f$  hitung **lebih kecil** dari pada  $f$  allowable,

jadi tebal shell 3/16 **DAPAT DIGUNAKAN**

### Menghitung Tutup Bawah Berbentuk Conical

Untuk tebal tutup atas disamakan dengan tebal tutup bawah, karena tutup bawah lebih banyak menerima beban

Dengan  $\alpha = 30^\circ$

Asumsi tebal shell = 3/16 in

$$t_c = \frac{P D}{2 \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + C$$

$$t_c = \frac{P D}{2 \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + C$$

$$3/16 = \frac{14,7 \text{ psi} \times 53,1466 \text{ in}}{2 \cos 30^\circ (7.801,5237 (0,8) - 0,6 \times 14,7)} + 1/8$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} 1/16 &= \frac{781,25487 \text{ psi in}}{1,73 ((f \ 0,8) - ( \ 8,8 \text{ psi}))} \\ 1/16 &= \frac{781,25487 \text{ psi in}}{1,3856 f - 15,3 \text{ psi}} \\ f &= 9.032,2 \end{aligned}$$

$f$  hitung **lebih kecil** dari pada  $f$  allowable,  
jadi tebal shell 3/16 **DAPAT DIGUNAKAN**

### Tinggi Conical

$$h = \frac{\text{tg } \alpha \times (D - m)}{2} \quad [\text{Hesse, pers 4-17 :}]$$

Dengan :  $\alpha$  = sudut conis,  $30^\circ$   
 $D$  = diameter tangki ; ft  
 $m$  = flat spot diameter = 12 in = 1 ft

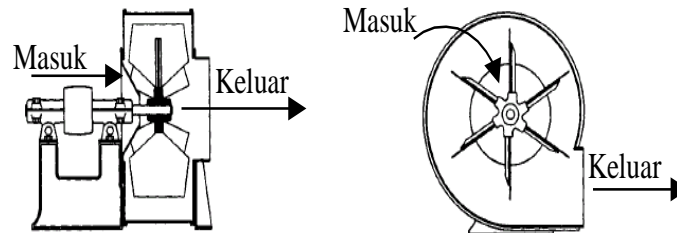
$$\begin{aligned} h &= \frac{\text{tg } \alpha \times (D - m)}{2} \\ h &= \frac{\text{tg } ( 30 ) \times ( 4,4289 - 1 )}{2} \\ h &= \frac{0,5773503 \times 3,4289}{2} \\ h &= 0,9898 \text{ ft} \end{aligned}$$

### Spesifikasi :

Fungsi	= Memisahkan padatan yang terikut udara
Type	= Van Tongeren Cyclone
Dasar Pemilihan	= Efektif dan sesuai dengan jenis bahan.
Kapasitas	= 21.023,203 kg/jam
Rate Volumetrik	= 204,5848 cuft/detik
Diameter cyclone	= 4,4289 ft
Diameter partikel	= 0,000028 ft
Tebal shell	= 3/16 in
Tebal tutup atas	= 3/16 in
Tebal tutup bawah	= 3/16 in
Bahan konstruksi	= Carbon steel SA-283 grade C
Jumlah	= 1 buah

**27. BLOWER (G-353)**

- Fungsi = Mengalirkan udara untuk keperluan pengeringan  
Type = Centrifugal blower  
Dasar Pemilihan = Sesuai dengan jenis bahan, efisiensi tinggi.

**Perhitungan :**

- Rate massa udara = 20.928,674 kg/jam  
= 46.139,982 lb/jam  
BM udara = 28,84 kg/kmol  
BM udara standart = 359 kg/kmol

Menentukan densitas campuran (udara + padatan): (**Himmelblau , Page 249**)

Pada  $P = 1 \text{ atm}$

$$T = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 545,67 \text{ } ^\circ\text{R}$$

Udara standart

$$T = 25 \text{ } ^\circ\text{C} = 536,67 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$\rho = \frac{T_{\text{udara standart}}}{T} \times \frac{P}{P_{\text{udara standart}}} \times \frac{BM}{BM_{\text{udara standart}}}$$

Keterangan :

- $T$  = Suhu bahan ;  $^{\circ}\text{Rankine}$   
 $P$  = Tekanan bahan ; atm  
 $BM$  = Berat molekul campuran  
 $T_p$  = suhu udara standar



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{T_{\text{udara standart}}}{T} \times \frac{P}{P_{\text{udara standart}}} \times \frac{BM}{BM_{\text{udara standart}}} \\ &= \frac{536,67}{545,67} \times \frac{1}{1} \times \frac{28,8}{359} \\ &= 0,0790 \text{ lb/cuft} \\ \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\rho \text{ campuran}} \\ &= \frac{46.139,982}{0,0790} \\ &= 583.981,886 \text{ cuft/jam} \\ &= 9.733,031 \text{ cuft/menit}\end{aligned}$$

### Menentukan dimensi blower

Asumsi : aliran turbulen [Foust, App.C6A]

Dipilih pipa 12 in, sch 40

OD = 12,75 in

ID = 11,938 in

$$\begin{aligned}A &= 1/4 \times \pi \times ID^2 \\ &= 1/4 \times 3,14 \times 11,938^2 \\ &= 111,8749 \text{ in}^2\end{aligned}$$

### Perhitungan power blower

$$H_p = 0,000157 Q \times \Delta P \quad [\text{Perry } 6^{\text{ed}}; \text{ pers.6-22}]$$

Pressure drop diambil = 0,5 Psi

Dimana :

1 Psi = 27,70 in H<sub>2</sub>O

0.5 Psi = 13,85 in H<sub>2</sub>O

$$\begin{aligned}H_p &= 0,000157 \times 9.733,031 \times 13,85 \\ &= 21,16399 \text{ Hp}\end{aligned}$$

$$\text{Effisiensi} = \frac{H_p \text{ blower}}{H_p \text{ shaft}} \quad [\text{Perry } 6^{\text{ed}}; \text{ pers.6-35 ; Page.6-21}]$$

Effisiensi blower = 40% - 85%

Dipilih effisiensi blower = 85% , maka :

$$\begin{aligned}H_p \text{ shaft} &= \frac{21,1640}{85\%} \\ &= 24,9 \text{ Hp}\end{aligned}$$

$$\text{Adiabatic head} = 15000 \text{ ft.lbf/lb}_m \text{ gas} \quad [\text{Perry } 6^{\text{ed}}; \text{ fig.6-35}]$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi Blower :

Fungsi	= Mengalirkan udara untuk keperluan pengeringan
Type	= Centrifugal blower
Dasar Pemilihan	= Sesuai dengan jenis bahan, efisiensi tinggi.
Rate Volumetrik	= 9.733,031 cuft/menit
Adiabatic Head	= 15000 ft.lbf/lbm gas
Effisiensi Blower	= 85%
Power	= 25 Hp
Bahan Konstruksi	= Carbon Steel
Jumlah	= 1 Buah multistage

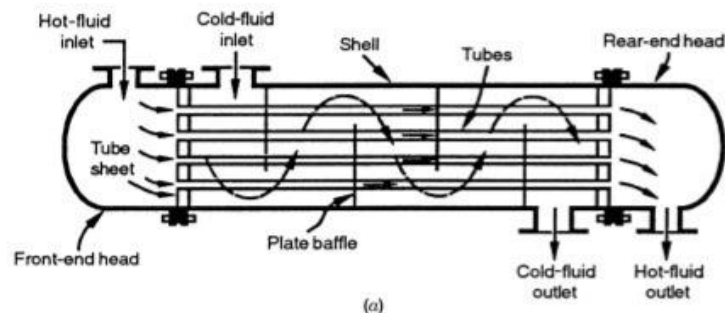


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

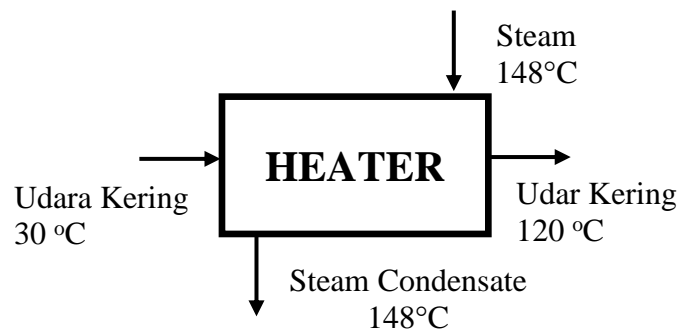
### 28. HEATER-4 (E-354)

- Fungsi = Memanaskan udara dari 30°C menjadi 120°C  
Tipe = 1-2 Shell and Tube Heat Exchanger (Fixed Tube)  
Dasar Pemilihan = Umum digunakan pada range perpindahan panas  
Kondisi Operasi =  
Tekanan = 1 atm  
Suhu = 120 °C  
Waktu proses = Continue



Perhitungan :

**Diagram suhu :**



**Neraca panas :**

Dari neraca massa dan neraca panas diperoleh :

Berat bahan	=	20.922,1699	kg/jam
	=	46.125,6434	lb/jam
Panas yang dibutuhkan, Q	=	397.174,8499	kkal/jam
	=	1.575.065,63	BTU/jam
W steam	=	671,3753	kg/jam
	=	1.480,1341	lb/jam



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 1 Log Mean Temperature Diference

Temperatur asam sulfat

$$t_1 = 30,00 \text{ } ^\circ\text{C} = 86,00 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 120 \text{ } ^\circ\text{C} = 248,00 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Temperature steam

$$T_1 = 148 \text{ } ^\circ\text{C} = 298,40 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 148 \text{ } ^\circ\text{C} = 298,40 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ Dt}_1 &= T_2 - t_1 & \text{Dt}_2 &= T_1 - t_2 \\ &= 298,4 - 86,0 & &= 298,4 - 248,0 \\ &= 212,4 \text{ } ^\circ\text{F} & &= 50,4 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LMTD} &= \frac{\text{Dt}_2 - \text{Dt}_1}{\ln \frac{\text{Dt}_2}{\text{Dt}_1}} \\ &= \frac{50,4 - 212,4}{\ln \frac{50,4}{212,4}} \\ &= 112,6 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dt} &= F_T \times \text{LMTD} \\ &= 1 \times 112,6 \\ &= 112,6 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

### 3 $T_c$ dan $t_c$ dipakai temperature rata-rata

$$\begin{aligned} T_c &= T_{\text{av steam}} & t_c &= t_{\text{av bahan}} \\ &= \frac{298,4 + 298,4}{2} & &= \frac{86,0 + 248,0}{2} \\ &= 298,4 \text{ } ^\circ\text{F} & &= 167,0 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dipilih tipe : 1-2 Heat Exchanger

Digunakan shell and tube dengan ukuran :

OD, BWG, pitch = 3/4 in, 16 BWG, 1-in square

Panjang Tube, L = 7 ft

**Berdasarkan Kern; T. 10 hal. 843**

ID = 0,620 in

a't = 0,302 in<sup>2</sup>

a" = 0,1623 ft<sup>2</sup>/ft panjang





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Hot Fluid : Steam

Cold Fluid : Udara Kering

Nilai  $U_D$  range = 200 -700 Btu/jam.ft<sup>2</sup>°F (Cold fluid = Light Organics)  
(Kern Table 8 ; Page 840)

### Trial:

Untuk sistem steam dan aqueous solution

$$\text{Trial } U_D = 200 \text{ Btu/j.ft}^2$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{D_{t_{LMTD}} \times U_D} \\ &= \frac{1.575.065,6314 \text{ BTU/jam}}{112,6 \text{ }^\circ\text{F} \times 200 \text{ Btu/j.ft}^2} \\ &= 69,929 \text{ ft}^2 \\ &= 6,4966 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A}{L \times a''} \\ &= \frac{69,9290 \text{ ft}^2}{7 \text{ ft} \times 0,1623 \text{ ft}} \\ &= 61,6 \end{aligned}$$

Asumsi 2 tube passes, dari tabel 9 kern dipilih ukuran yang paling mendekati: 3/4" OD tubes on 1" square pitch

$$\text{ID shell} = 13 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$\text{Passes} = 2$$

$$\text{Baffle Space} = 5$$

Koreksi koefisien  $U_D$

$$\begin{aligned} A &= N_t \times L \times a'' \\ &= 61,6 \times 7 \text{ ft} \times 0,162 \text{ ft} \\ &= 69,929 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_D &= \frac{Q}{D_{t_{LMTD}} \times A} \\ &= \frac{1.575.065,6314 \text{ BTU/jam}}{112,6 \text{ }^\circ\text{F} \times 69,929 \text{ ft}^2} \\ &= 200,000 \text{ Btu/j.ft}^2 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Hot Fluid : Tube side, steam	Cold Fluid: Shell Side, udara
<p><b>4. Flow Area</b></p> $a_t = 0,302 \text{ in}^2$ <p style="text-align: center;">(Kern; T. 10 hal. 843)</p> $a_t = \frac{N_t \times a'_t}{144 \times n}$ $= \frac{61,6 \times 0,302 \text{ in}^2}{144 \times 2}$ $= 0,0645 \text{ ft}^2$	<p><b>4. Flow Area</b></p> $C' = P_T - \text{OD Tube}$ $= 1 \text{ in} - \frac{3}{4} \text{ in}$ $= \frac{1}{4} \text{ in}$ $a_s = \frac{\text{ID} \times C' \times B}{144 \times P_T}$ $= \frac{13,3 \times \frac{1}{4} \times 5}{144 \times 1}$ $= 0,1150$
<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_t = \frac{W \text{ steam}}{a_t}$ $= \frac{1.480,13 \text{ lb/jam}}{0,06454 \text{ ft}^2}$ $= 22.932,197 \text{ lb/jam.ft}^2$	<p><b>5. Mass Velocity</b></p> $G_s = \frac{W \text{ bahan}}{a_s}$ $= \frac{46.125,6434 \text{ lb/jam}}{0,115 \text{ ft}^2}$ $= 401.032,01 \text{ lb/jam.ft}^2$
<p><b>6. Reynold Number</b></p> $T_c = 298,40 \text{ F}$ $\mu = 0,0200 \text{ cps}$ $= 0,0484 \text{ lb/jam ft}^2$ <p style="text-align: center;">(Kern; F. 15)</p> $D_i = 0,620 \text{ in}$ $= 0,052 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;">(Kern; T. 10)</p> $Re_{t} = \frac{D \times G_t}{\mu}$ $= \frac{0,05 \text{ ft} \times 22.932,1967 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}}{0,048 \text{ lb/ft hr}}$ $= 24.479,96$	<p><b>6. Reynold Number</b></p> $t_c = 167,00 \text{ }^\circ\text{F}$ $\mu = 0,0380 \text{ cps}$ $= 0,0920 \text{ lb/ft hr}$ <p style="text-align: center;">(Kern; F. 15)</p> $D_e = 3,346 \text{ in}$ $= 0,279 \text{ ft}$ <p style="text-align: center;">(Kern; T. 10)</p> $Re_{t} = \frac{D \times G_s}{\mu}$ $= \frac{1.215.829,971}{0,0920}$
	<p><b>7. Faktor Panas (<math>j_H</math>)</b></p> $j_H = 400 \text{ Btu/lb ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ <p style="text-align: center;">(Kern; F. 28)</p>



**Pra Rencana Pabrik**

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Hot Fluid : Tube Side, Steam	Clod Fluid : Shell Side, udara
	<p><b>8. Mencari <math>(cm/k)^{1/3}</math></b>            Pada <math>t_c = 167,00 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p> <p><math>c = 0,25 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}</math>  <i>(Kern; F. 2)</i></p> <p><math>k = 0,02 \frac{\text{Btu}}{\text{j.ft.}^\circ\text{F}}</math></p> <p><math>(cm/k)^{1/3} = \frac{(m \times c)^{1/3}}{k^{1/3}}</math>  <math>= \frac{(0,0920 \times 0,25)^{1/3}}{(0,02)^{1/3}}</math>  <math>= 1,0471</math></p>
<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>            untuk steam  <math>h_{io} = 1500 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}</math>  <i>(Kern; 164)</i></p> <p>(10) <math>tw^*</math>  <math>tw = t_c + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c)</math>  <math>= 298 + \frac{1500}{1530,045} \times 131</math>  <math>= 427,22 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p>	<p><b>9. Mencari <math>h_o</math></b>  <math>h_o = j_H \times (k/De) \times (cm/k)^{1/3} \times fs</math>  <math>\frac{h_o}{fs} = 400 \times \frac{0,02}{0,28} \times 1,047</math>  <math>\frac{h_o}{fs} = 30,045 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p> <p>(10') Pada <math>tw = 427,22 \text{ } ^\circ\text{F}</math>  <math>\mu_w = 2 \mu_{water} \text{ [Fig.14]}</math>  <math>= 0,02 \text{ cps}</math>  <math>= 0,0484 \text{ lb / jam.ft}</math>  <math>\phi_s = (\mu/\mu_w)^{0,14}</math>  <math>= 1,0940 \text{ lb / jam.ft}</math></p> <p>(11') Corrected coefficient  <math>h_o = \frac{h_o \cdot \phi_s}{\phi_s}</math>  <math>= 32,869 \text{ Btu/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}</math></p>



### Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<b>PRESSURE DROP</b>	
<b>Hot Fluid : Tube side, steam</b>	<b>Cold Fluid: Shell Side, udara</b>
<p>(1) Flow area (<math>a_s</math>) dari tabel 7 kern, spesifik volume pada suhu 298,4 <math>6,65 \text{ ft}^3/\text{lb}</math> <math>\rho = 1 \text{ lb/ } 6,65 \text{ cuft}</math> <math>= 0,1504 \text{ lb/ft}^3</math> <math>sg = \frac{0,15}{62,5} = 0,0024</math> <math>D = 1,1042 \text{ ft}</math> <math>sg = 0,002</math> <math>Ret = \frac{Ds' \cdot Gt}{\mu}</math> <math>= 24.479,96</math> <math>f = 0,0017 \text{ ft}^2/\text{in}^2</math> <b>[Kern; Fig.29]</b></p> <p>(2) :</p> $\Delta P_t = \frac{f \cdot Gt^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \times 10^{10} \times De \times s \times \phi t}$ $= 1,929 \text{ Psi}$ <p><math>\Delta P_t &lt; 10 \text{ psi}</math> (memenuhi untuk gas)</p>	<p>(1') Sg bahan: <math>sg = 1,0000</math> <math>f = 0,0003 \text{ ft}^2/\text{in}^2</math> <b>[Fig.26]</b> <math>Res = 1.215.829,971</math> <math>(N+1) = \frac{12 \times L}{B}</math> <math>= \frac{12 \times 7}{5}</math> <math>= 16,80</math></p> <p>(2') <math>DP_s = \frac{f Gs^2 De (N+1)}{5,22 \times 10^{10} De s f}</math> <math>= 0,0556962</math> <math>\Delta P_s &lt; 10 \text{ psi}</math> (memenuhi untuk gas)</p>

### 13. Clean Overall Coefficient $U_c$

$$U_c = \frac{h_{i0} \times h_o}{h_{i0} + h_o}$$

$$= \frac{1500 \times 32,869}{1500 + 32,869}$$

$$U_c = 32,16 \frac{\text{Btu}}{\text{j.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

### 14. Tahanan Pipa Panas Terpakai

$$U_D = \frac{Q}{DT \times A}$$

$$= \frac{1.575.065,6314 \text{ BTU/jam}}{112,6 \text{ } ^\circ\text{F} \times 69,929 \text{ ft}^2}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 14. Dirt factor Rd

$$U_D = 200,000$$

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$

$$R_d = \frac{32,165 - 200,000}{32,165 \times 200,000}$$

$$R_d = 0,0261 \frac{\text{j.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}{\text{Btu}}$$

$$0,0261 > 0.002 \text{ untuk heater steam}$$

#### Spesifikasi :

Fungsi	=	Memanaskan udara dari 30°C menjadi 120°C
Tipe	=	1-2 Shell and Tube Heat Exchanger (Fixed Tube)
Dasar pemilihan	=	Umum digunakan dan mempunyai range perpindahan panas yang besar
Tube	=	OD = 3/4 in, 10 BWG Panjang = 7 ft Pitch = 1 in square pitch Nt = 69,9 buah passes = 2
Shell	=	ID = # in passes = 2
Heat exch. area, A	=	6,497 ft <sup>2</sup>
Jumlah heat exchanger	=	1 buah



## Pra Rencana Pabrik

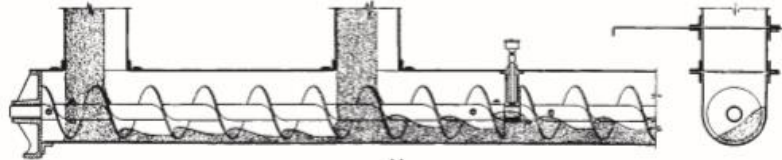
“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 29. COOLING CONVEYOR (J-351)

Fungsi = Mendinginkan Kristal Disodium Fosfat dari rotary dryer ke bucket elevator hingga 30 °C

Type = Plain Spouts or Chutes

Dasar pemilihan = Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup



#### Feed Masuk Cooling Conveyor

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5.030,5205	0,996043069	1,5200
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,8759	0,001955434	2,5200
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0	0	1,8300
NaCl	0	0	2,1630
H <sub>2</sub> O	10,1086	0,002001498	1
<b>Total</b>	<b>5.050,5051</b>	<b>1</b>	

Rate massa solid = 5.050,505 kg/jam  
= 11.134,49 lb/jam  
= 3,0929 lb/detik

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}}$$
$$= 94,8229 \text{ lb/cuft}$$

$$\text{Rate volumetrik solid} = \frac{\text{Rate massa}}{\rho \text{ campuran}}$$
$$= \frac{11.134,4949}{94,8229}$$
$$= 117,4241 \text{ cuft/jam}$$
$$= 1,9571 \text{ cuft/menit}$$
$$= 14,6399 \text{ gpm}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$F = 4 \quad [\text{Badger, Tabel 16-6}]$$

$$\text{Power Motor} = \frac{C \cdot L \cdot W \cdot F}{33.000} \quad [\text{Badger, pers. 16-4}]$$

Keterangan :

C	= Kapasitas	; cuft/menit
L	= Panjang	; ft
W	= Densitas bahan	; lb/cuft
F	= Faktor bahan	

$$\text{Asumsi Panjang Conveyor} \quad , L = 20 \text{ ft} \\ = 6,1 \text{ m}$$

$$\text{Power Motor} = \frac{1,9571 \times 20 \times 94,8229 \times 4}{33.000} \\ = 0,4499 \text{ hp}$$

Untuk power hp <2, maka dikalikan 2 (*Badger : 713*)

$$\text{Power Motor} = 0,4499 \times 2 \\ = 0,8998 \text{ hp}$$

Efisiensi Motor = 80% maka,

$$\text{Power Motor} = \frac{0,8998}{80\%} \\ = 1,1247 \\ \approx 1 \text{ Hp}$$

Dari *Perry 7<sup>ed</sup>, Tabel 21-6 hal 21-8*, berdasarkan kapasitas didapatkan :

Kapasitas maksimum	=	5 ton/jam
Diameter flight	=	9 in
Diameter pipa	=	2 1/2 in
Diameter of shaft	=	2 in
Hanger center	=	10 ft
Diameter feed section	=	6 in
Kecepatan screw conveyor	=	40 rpm



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi Cooling Conveyor :

Fungsi	=	mendinginkan kristal $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ dari <i>rotary dryer</i> ke <i>bucket elevator</i> hingga $30^\circ\text{C}$
Type	=	<i>Plain spots or chutes</i>
Dasar Pemilihan	=	Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup
Kapasitas	=	# kg/jam
Rate Volumetrik	=	14,640 gpm
Diameter flight	=	9 in
Diameter pipa	=	2 1/2 in
Diameter of shaft	=	2 in
Kecepatan (rpm)	=	40
Panjang	=	20 ft
Efisiensi	=	80%
Power	=	1 hp
Jumlah	=	1 buah
Elevasi	=	Horizontal



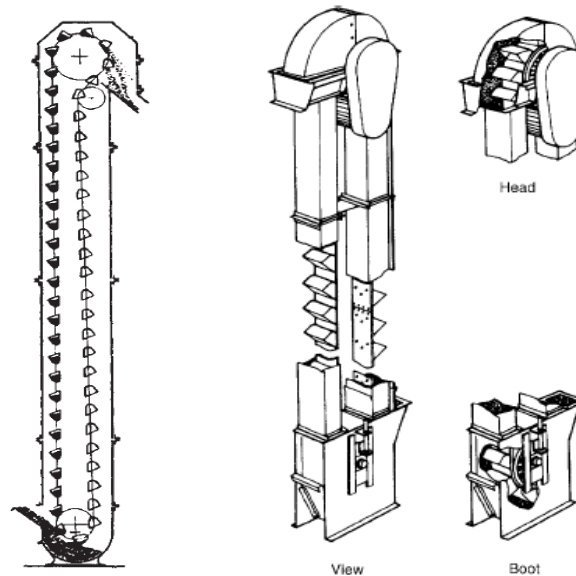


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 30. BUCKET ELEVATOR-2 (J-352)

- Fungsi = Memindahkan Disodium Fosfat dari *Cooling Conveyor* ke *Ball Mill*
- Type = *Continuous Discharge Bucket Elevator*.
- Dasar Pemilihan = Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu.



$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 5050,5051 \text{ kg/jam} \\ &= 5,0505 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asumsi jarak bucket dari dasar} &= 5 \text{ ft} \\ \text{Tinggi Bucket} &= (\text{Hopper-2} + \text{Ball mill} + \text{Jarak dari dasar}) \\ &= 8,4 + 5 + 5 \\ &= 18,4252 \text{ ft} \\ &= 5,6160 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan kapasitas 12.6402 ton/jam dari **Perry 7<sup>ed</sup>**, **tabel 21-8** dipilih bucket elevator dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas maksimum} &= 14 \text{ ton/jam} \\ \text{Power pada head shaft} &= 1 \text{ hp} \\ \text{Power tambahan} &= 0,02 \text{ hp/ft} \\ &= 0,02 \text{ hp/ft} \times 5,6160 \\ &= 0,1 \text{ hp/ft} \\ \text{Power total} &= 1,0 + 0,5 \\ &= 1,5 \text{ hp} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

Efisiensi motor	=	80%
Power motor	=	$\frac{1,5}{80\%}$ hp
	=	1,875
	»	2
Kecepatan bucket	=	225 ft/menit
Putaran head shaft	=	43 rpm

### Spesifikasi :

Fungsi	=	Memindahkan Disodium Fosfat dari Cooling Conveyor ke Ball Mill
Type	=	<i>Continuous Discharge Bucket Elevator</i> .
Dasar Pemilihan	=	Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu.
Kapasitas maks	=	14 ton/jam
Dimensi	=	6 in x 4 in x 5 1/4 in
Bucket spacing	=	12 in
Tinggi elevator	=	18,425 ft 5,6160 m
Ukuran feed (maks)	=	3/4 in
Kecepatan bucket	=	225
Putaran head shaft	=	43 rpm
Lebar belt	=	7 in
Power total	=	1,875 hp
Bahan	=	Carbon Steel
Alat pembantu	=	Hopper chute (pengumpan)
Jumlah	=	1

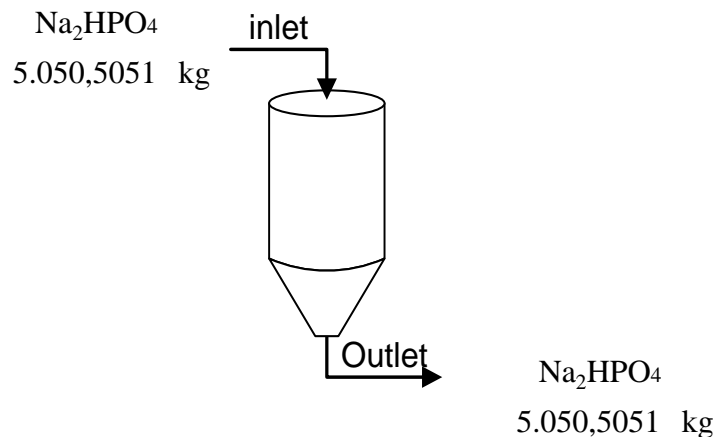


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 31. HOPPER-2 (F-356)

- Fungsi = Menampung Disodium Fosfat dari Bucket Elevator  
 Type = Silinder tegak dengan tutup atas datar dan bawah Conis  
 Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk menampung padatan  
 Kondisi Operasi =  
 Tekanan = 1 atm (Atmosfer pressure)  
 Suhu = 30 °C (Suhu ruang)  
 Waktu Penyimpanan = 1 jam = 60 menit



Perhitungan

Komposisi Bahan :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	5.030,5205	0,996043069	1,5200
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0	0	1,8300
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	9,8759	0,001955434	2,533
$\text{NaCl}$	0	0	2,163
$\text{H}_2\text{O}$	10,1086	0,002001498	1
	5.050,5051	0,003956931	

$$\begin{aligned}
 \text{Densitas Campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ Komponen}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft} \\
 &= 94,8691 \text{ lb/cuft} \\
 \text{Rate Massa} &= 5.050,5051 \text{ kg/jam} \\
 &= 11.134,495 \text{ lb/jam} \\
 \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\
 &= \frac{11.134,495 \text{ lb/jam}}{94,86905172 \text{ lb/cuft}} \\
 &= 117,3670 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Direncanakan penyimpanan untuk 1 jam proses, sehingga volume bahan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Volume Bahan} &= 117,367 \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 1 \text{ jam} \\ &= 117,367 \text{ cuft} \end{aligned}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (untuk faktor keamanan)

Asumsi Volume Bahan = 80% volume tangki

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{117,3670 \text{ cuft}}{80\%} \\ &= 146,7087 \text{ cuft} \\ &= 4,1533 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi Dimention Ratio :  $H/D = 2 - 5$  (*Ulrich : T.4-27*)

Dipilih  $H/D = 2$

$$\begin{aligned} \text{Volume Tangki} &= 1/4 \pi D^2 H \\ 117,3670 &= 1/4 \times 3,14 \times D^2 \times 2 D \\ 117,3670 &= 1,57 D^3 \\ 74,7560 &= D^3 & H &= 2 D \\ D &= 4,2126 \text{ ft} & &= 8,4252 \text{ ft} \\ &= 50,5510 \text{ in} & &= 101,1021 \text{ in} \\ &= 1,2840 \text{ m} & &= 2,5680 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H bahan} &= 80\% H \\ &= 80\% \times 8,4252 \text{ ft} \\ &= 6,7401 \text{ ft} \\ &= 80,8816 \text{ in} \\ &= 2,0544 \text{ m} \\ \text{P operasi} &= 1 \text{ atm} \\ &= 14,7 \text{ psi} \end{aligned}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

$$\begin{aligned} \text{P design} &= 14,7 \times 1,1 \\ &= 16,17 \text{ psi} \end{aligned}$$

### Menentukan Tebal Minimum Shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank :

$$t_{s_{\min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \quad [Brownell, pers. 13-1, hal 254]$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Dimana :

$t_{s_{min}}$  = tebal shell minimum ; in

P = tekanan tangki ; psi

$r_i$  = jari-jari tangki ; in ( $1/2 D$ )

C = faktor korosi ; in (digunakan  $1/8$  in) [Brownell, pg 254]

E = faktor pengelasan, digunakan double welded, E = 0,8

f = allowable stress, bahan konstruksi Carbon Steel SA-283 GradeC

maka,  $f_{all} = 12.650$  psi [Brownell, T.13-1, pg 251]

Asumsi tebal shell =  $3/16$  in

$$t_{s_{min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C$$

$$3/16 \text{ in} = \frac{16,2 \text{ psi} \times (0,5 \times 50,5510 \text{ in})}{f \cdot 0,8 - 9,6994 \text{ psi in}} + 1/8 \text{ in}$$

$$1/16 \text{ in} = \frac{408,59387 \text{ psi in}}{f \cdot 0,8 - 9,6994 \text{ psi in}}$$

$$f = 8.159,7532 \text{ psi}$$

f hitung **lebih kecil** dari pada f allowable,  
jadi tebal shell  $3/16$  **DAPAT DIGUNAKAN**

### Menghitung Tutup Bawah Berbentuk Conical

Untuk tebal tutup atas disamakan dengan tebal tutup bawah, karena tutup bawah lebih banyak menerima beban

$$t_c = \frac{P D_i}{2 \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + C$$

Dengan  $\alpha = 30^\circ$

Asumsi tebal shell =  $3/16$  in

$$t_c = \frac{P D}{2 \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + C$$

$$3/16 = \frac{14,7 \text{ psi} \times 50,5510 \text{ in}}{2 (\cos 30) ((f \cdot 0,8) - (0,6 \times 14,7))} + 1/8$$

$$1/16 = \frac{742,89795 \text{ psi in}}{1,73 ((f \cdot 0,8) - (8,8 \text{ psi}))}$$

$$1/16 = \frac{742,89795 \text{ psi in}}{1,3856 f - 15,3 \text{ psi}}$$

$$f = 8.589,3$$

f hitung **lebih kecil** dari pada f allowable,  
jadi tebal shell  $3/16$  **DAPAT DIGUNAKAN**



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Tinggi Conical

$$h = \frac{\text{tg } \alpha \times (D - m)}{2} \quad [\text{Hesse, pers 4-17 :}]$$

Dengan :  $\alpha$  = sudut conis,  $30^\circ$   
D = diameter tangki ; ft  
m = flat spot diameter = 12 in = 1 ft

$$h = \frac{\text{tg } \alpha \times (D - m)}{2}$$

$$h = \frac{\text{tg } (30^\circ) \times (4,2126 - 1)}{2}$$

$$h = \frac{0,5773503 \times 3,2126}{2} = 0,9274 \text{ ft}$$

### Spesifikasi :

Fungsi	=	Menampung disodium fosfat dari bucket elevator
Type	=	Silinder tegak dengan tutup atas datar dan bawah conical
Dasar Pemilihan	=	Umum digunakan untuk menampung padatan
Kapasitas	=	117,367 cuft = 3,3227 m <sup>3</sup>
Diameter Tangki	=	4,2126 ft = 1,2840 m <sup>3</sup>
Tinggi Tangki	=	8,4252 ft = 2,5680 m <sup>3</sup>
Tebal Shell	=	3/16 in
Tebal Tutup Bawah	=	3/16 in
Tebal Tutup Atas	=	3/16 in
Tinggi Conical	=	0,9274 ft
Cone Conical	=	$30^\circ$
Jumlah	=	1 buah
Bahan Konstruksi	=	Carbon Steel SA-283 Grade C

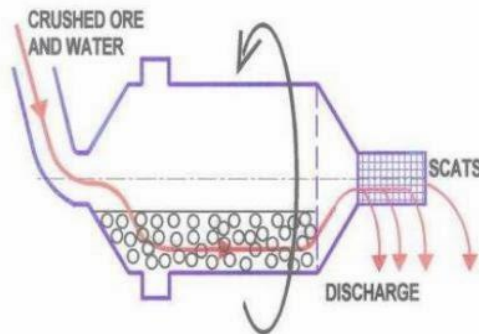


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 29. BALL MILL (C-360)

Fungsi	= Menghaluskan kristal sampai ukuran 100 mesh.
Type	= Marcy ball mill
Dasar pemilihan	= Sesuai dengan jenis bahan dan kapasitas
Kondisi operasi	=
Tekanan operasi	= 1 atm
Suhu operasi	= 30 °C.
Waktu operasi	= Continous



#### Perhitungan :

Rate bahan	= 5.050,51 kg/jam
	= 5,051 ton/jam
	= 121,212 ton/hari

Untuk produk berukuran 100 mesh dengan kapasitas 121,212 ton/hari

Dari **Perry 7<sup>ed</sup>, tabel 20-16** di dapat :

Jenis Ball Mill	= Marcy Ball Mills
Power	= 135-150 hp
No.Sieve	= 100 mesh
Rate Maksimum	= 180 ton/hari
Berat Bola Baja	= 13,10 ton
Ball Mill Speed	= 22,5 rpm

#### Ukuran Ball Mill:

Panjang Mill	= 7 ft
Diameter Mill	= 5,0 ft
Tinggi Mill	= 5,0 ft

Untuk Marcy ball mill, maka digunakan 3 ukuran bola baja :

5 & 3,5 & 2,5 in (Stanley Walas; Fig 12.5(d) hal 346)

Asumsi berat bola baja didistribusikan sama rata menjadi 3 bagian (berdasarkan 3 ukuran)

Jadi, berat bola baja masing-masing ukuran  $\frac{13,1}{3} = 4,37$  ton



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Perhitungan jumlah ball :

$$\begin{aligned}\text{Diameter bola baja} & \quad 5 \text{ in} = 0,13 \text{ m} \\ \text{Jari-jari bola baja} & = \frac{0,13}{2} = 0,0635 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume bola} & = (4/3) \pi R^3 = 0,001072 \text{ m}^3 = 1,0720 \text{ L} \\ \text{densitas bola (steel)} & = 4,8 \text{ gram/cm}^3 \text{ (Perry ed.7 20-33)} \\ & = 4,8 \text{ kg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat(massa) Bola} & = 4,8 \text{ kg/L} \times 1,0720 \text{ L} \\ & = 5,146 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat total untuk baja ukuran } 5 \text{ in} & = 4,37 \text{ ton} \\ & = 4366,7 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baja ukuran } 5 \text{ in} & = \frac{4366,7}{5,146} \\ & = 848,632 \text{ Buah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Diameter bola baja} & \quad 3,5 \text{ in} = 0,09 \text{ m} \\ \text{Jari-jari bola baja} & = \frac{0,09}{2} = 0,0445 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume bola} & = (4/3) \pi R^3 = 0,000368 \text{ m}^3 = 0,3677 \text{ L} \\ \text{densitas bola (steel)} & = 4,8 \text{ gram/cm}^3 \text{ (Perry ed.7 20-33)} \\ & = 4,8 \text{ kg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat(massa) Bola} & = 4,8 \text{ kg/L} \times 0,3677 \text{ L} \\ & = 1,765 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat total untuk baja ukuran } 3,5 \text{ in} & = 4,37 \text{ ton} \\ & = 4366,7 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baja ukuran } 3,5 \text{ in} & = \frac{4366,7}{1,765} \\ & = 2.474,145 \text{ Buah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Diameter bola baja} & \quad 2,5 \text{ in} = 0,06 \text{ m} \\ \text{Jari-jari bola baja} & = \frac{0,06}{2} = 0,0318 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume bola} & = (4/3) \pi R^3 = 0,000134 \text{ m}^3 = 0,1340 \text{ L} \\ \text{densitas bola (steel)} & = 4,8 \text{ gram/cm}^3 \text{ (Perry ed.7 20-33)} \\ & = 4,8 \text{ kg/L}\end{aligned}$$





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned}\text{Berat(massa) Bola} &= 4,8 \text{ kg/L} \times 0,1340 \text{ L} \\ &= 0,643 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat total untuk baja ukuran } 2,5 \text{ in} &= 4,37 \text{ ton} \\ &= 4366,7 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baja ukuran } 2,5 \text{ in} &= \frac{4366,7}{0,643} \\ &= 6.789,053 \text{ Buah}\end{aligned}$$

Perhitungan kecepatan kritis :

$$N_c = 76,6 / D^{0,5} \text{ (Perry 7}^{\text{ed}} \text{ : 20-32)}$$

dimana :  $N_c$  = Kecepatan kritis ; rpm

$D$  = Diameter mill ; ft

$$\begin{aligned}N_c &= \frac{76,6}{D^{0,5}} \\ &= \frac{76,6}{5^{0,5}} \\ &= 34,3 \text{ rpm}\end{aligned}$$

Kecepatan actual = 60 - 80% dari kecepatan kritis (Perry 7<sup>ed</sup> : 20-32)

$$\begin{aligned}\text{ditetapkan : } N &= 78\% N_c \\ &= 78\% \times 34,3 \\ &= 27 \text{ rpm}\end{aligned}$$

Ditetapkan kecepatan actualnya = 27 rpm

Perhitungan power yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}\text{Power} &= D^{2,5} \text{ (Perry 7}^{\text{ed}} \text{ : 20-34)} \\ &= 5^{2,5} \\ &= 56 \text{ hp}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

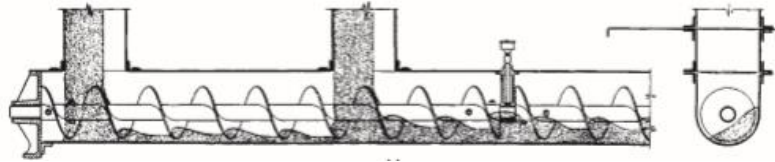
---

### Spesifikasi :

Fungsi	=	Menghaluskan kristal sampai ukuran 100 mesh.
Type	=	Marcy ball mill
Dasar Pemilihan	=	Sesuai dengan jenis bahan dan kapasitas
Kapasitas	=	121,21 ton/hari
Rate maksimum	=	180,00 ton/hari
Diameter mill	=	5,000 ft
Panjang mill	=	7,000 ft
Kecepatan putaran aktu.	=	27 rpm
Power	=	56 hp
Bahan ball	=	stainless steel
Bahan konstruksi	=	Carbon steel C-283
Bola Baja	=	
Ukuran bola baja	=	5 & 3,5 & 2,5 in
Jumlah bola	=	5 in = 849 buah
		3,5 in = 2474 buah
		2,5 in = 6789 buah
Jumlah	=	1 buah

**33. SCREW CONVEYOR-3 (J-361)**

- Fungsi = Memindahkan disodium fosfat dari ball mill ke bucket elevator
- Type = Plain spots or chutes
- Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup



**Feed Masuk Screw Conveyor :**

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5.030,5205	0,996043069	1,520
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0	0	1,830
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,8759	0,001955434	2,533
NaCl	-	0	2,163
H <sub>2</sub> O	10,10857347	0,002001498	1
	5.050,5051	0,003956931	

$$\text{Densitas Campuran} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ Komponen}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft}$$

$$= 94,869 \text{ lb/cuft}$$

$$\text{Rate Massa} = 5.050,5051 \text{ kg/jam}$$

$$= 11.134,4949 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{11.134,4949 \text{ lb/jam}}{94,86905172 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 117,3670 \text{ cuft/jam}$$

$$= 1,9561 \text{ cuft/menit}$$

$$= 14,6328 \text{ gpm}$$

$$F = 4 \quad [\text{Badger, Tabel 16-6}]$$

$$\text{Power Motor} = \frac{C \cdot L \cdot W \cdot F}{33.000} \quad [\text{Badger, pers. 16-4}]$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Keterangan :

C = Kapasitas ; cuft/menit

L = Panjang ; ft

W = Densitas bahan ; lb/cuft

F = Faktor bahan

Asumsi Panjang Conveyor , L = 30 ft  
= 9,14 m

$$\begin{aligned} \text{Power Motor} &= \frac{1,9561 \times 30 \times 94,869052 \times 4}{33.000} \\ &= 0,6748 \text{ hp} \end{aligned}$$

Untuk power hp <2, maka dikalikan 2 (**Badger : 713**)

$$\begin{aligned} \text{Power Motor} &= 0,6748 \times 2 \\ &= 1,3496 \text{ hp} \end{aligned}$$

Efisiensi Motor = 80% maka,

$$\begin{aligned} \text{Power Motor} &= \frac{1,3496}{80\%} \\ &= 1,6870 \\ &\approx 1 \end{aligned}$$

Dari **Perry 7<sup>ed</sup>**, **Tabel 21-6 hal 21-8**, berdasarkan kapasitas didapatkan :

Kapasitas maksimum	=	5 ton/jam
Diameter flight	=	9 in
Diameter pipa	=	2 1/2 in
Diameter of shaft	=	2 in
Hanger center	=	10 ft
Diameter feed section	=	6 in
Kecepatan screw conveyor	=	40 rpm



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi :

Fungsi	= Memindahkan disodium fosfat dari ballmill ke bucket elevator
Type	= Plain spots or chutes
Dasar Pemilihan	= Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup
Kapasitas	= 5.050,5051 kg/jam
Rate Volumetrik	= 14,6328 gpm
Diameter flight	= 9 in
Diameter pipa	= 2 1/2 in
Diameter of shaft	= 2 in
Kecepatan (rpm)	= 40 rpm
Elevasi	= Horizontal
Panjang	= 30
Efisiensi	= 80%
Power	= 1 Hp
Jumlah	= 1

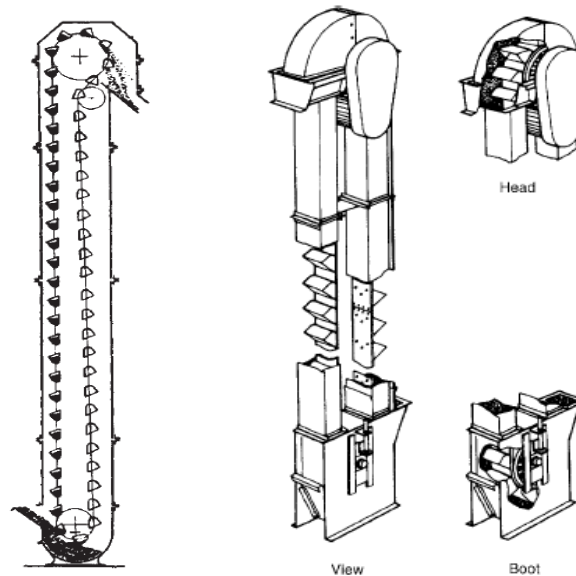


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 34. BUCKET ELEVATOR-3 (J-362)

- Fungsi = Memindahkan Disodium Fosfat dari Screw Conveyor ke Silo Disodium Fosfat
- Type = Continuous Discharge Bucket Elevator.
- Dasar Pemilihan = Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu.



$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 5.050,505 \text{ kg/jam} \\ &= 5,0505 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asumsi jarak bukcet dari dasar} &= 5 \text{ ft} \\ \text{Tinggi Bucket} &= (\text{jarak dasar} + \text{ballmill} + \text{silo}) \\ &= 5 + 5,0000 + 9,0772 \\ &= 19,0772 \text{ ft} \\ &= 5,8147 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan kapasitas 12.6402 ton/jam dari **Perry 7<sup>ed</sup>**, **tabel 21-8** dipilih bucket elevator dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kapansits maksimum} &= 14 \text{ ton/jam} \\ \text{Power pada head shaft} &= 1 \text{ hp} \\ \text{Power tambahan} &= 0,02 \text{ hp/ft} \\ &= 0,02 \text{ hp/ft} \times 5,8147 \\ &= 0,1 \text{ hp/ft} \\ \text{Power total} &= 1,0 + 0,5 \\ &= 1,5 \text{ hp} \\ \text{Efisiensi motor} &= 80\% \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

Power motor	=	$\frac{1,5}{80\%}$	hp
	=	1,875	
	»	2	
Kecepatan bucket	=	225	ft/menit
Putaran head shaft	=	43	rpm

### Spesifikasi :

Fungsi	=	Memindahkan Disodium Fosfat dari Screw Conveyor ke Silo Disodium Fosfat
Type	=	Continuous Discharge Bucket Elevator.
Dasar Pemilihan	=	Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu.
Kapasitas maks	=	14 ton/jam
Dimensi	=	6 in x 4 in x 5 1/4 in
Bucket spacing	=	12 in
Tinggi elevator	=	19,0772 ft 5,8147 m
Ukuran feed (maks)	=	3/4 in
Kecepatan bucket	=	225 ft/menit
Putaran head shaft	=	43 rpm
Lebar belt	=	7 in
Power total	=	1,875 hp
Bahan	=	<i>Carbon Steel</i>
Alat pembantu	=	<i>Hopper chute</i> (pengumpan)
Jumlah	=	1



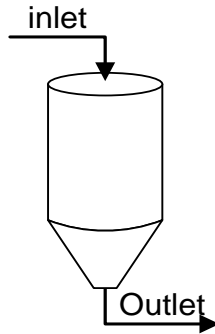
## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 35. SILO (F-410)

Fungsi = Menampung produk dari Ball Mill  
Type = Silinder tegak dengan tutup atas datar dan tutup bawah berbentuk conis.

Kondisi Operasi =  
Tekanan = 1 atm  
Suhu = 30 °C.



#### Feed Masuk Silo Disodium Fosfat Heptahydrate

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5.030,5205	0,996043069	1,5200
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,8759	0,001955434	2,5200
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0	0	1,8300
NaCl	0	0	2,1630
H <sub>2</sub> O	10,1086	0,002001498	1
<b>Total</b>	<b>5.050,5051</b>	<b>1</b>	

Rate massa solid = 5.050,505 kg/jam  
= 11.134,49 lb/jam  
= 267.227,8788 lb/hari

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \times 62,4$$

$$= 94,8229 \text{ lb/cuft}$$

$$\text{Rate volumetrik solid} = \frac{\text{Rate massa}}{\rho \text{ campuran}}$$

$$= \frac{11.134,4949 \text{ lb/jam}}{94,8229 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 117,4241 \text{ cuft/jam}$$

Direncanakan digunakan 1 buah silo untuk 1 jam penyimpanan, sehingga





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan} &= \frac{117,424 \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 1 \text{ jam}}{1 \text{ penyimpanan}} \\ &= 117,42 \text{ cuft} \end{aligned}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume silo untuk faktor keamanan, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = \frac{117,4241}{80\%} = 146,7802 \text{ cuft}$$

### Menentukan Dimensi Tangki

$$\begin{aligned} \text{Asumsi Dimention Ratio} &: H/D = 2 - 5 \quad (\text{Ulrich} : \text{T.4-27}) \\ \text{Dipilih } H/D &= 2 \quad \quad \quad 4,155346261 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Tangki} &= 1/4 \pi D^2 H \\ 146,7802 &= 1/4 \times 3 \times D^2 \times 2D \\ 146,7802 &= 1,57 D^3 \\ 93,4905 &= D^3 \quad \quad \quad H = 2 D \\ D &= 4,5386 \text{ ft} \quad \quad \quad = 9,0772 \text{ ft} \\ &= 54,4633 \text{ in} \quad \quad \quad = 108,9266 \text{ in} \\ &= 1,3834 \text{ m} \quad \quad \quad = 2,7667 \text{ m} \\ &\quad \quad \quad (D = 0,5 - 4 \text{ m, Ulrich; T. 4-18}) \\ &\quad \quad \quad (H = 1 - 60 \text{ m, Ulrich; T. 4-18}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H \text{ bahan} &= 80\% H \\ &= 80\% \quad 9,0772 \text{ ft} \\ &= 7,2618 \text{ ft} \\ &= 87,1413 \text{ in} \\ &= 2,2134 \text{ m} \\ P \text{ operasi} &= 1 \text{ atm} \\ &= 14,7 \text{ psi} \\ P \text{ design} &= 14,7 \times 1,1 \\ &= 16,17 \text{ psi} \end{aligned}$$

### Menentukan tebal minimum shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

$$t_{S_{\min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C \quad [\text{Brownell, pers. 13-1, hal 254}]$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Dimana :

$t_{s_{min}}$  = tebal shell minimum ; in

P = tekanan tangki ; psi

$r_i$  = jari-jari tangki ; in ( $1/2 D$ )

C = faktor korosi ; in (digunakan  $1/8$  in)

E = faktor pengelasan, digunakan double welded, E = 0,8

f = allowable stress, bahan konstruksi Carbon Steel SA-283 Grade C  
maka, f = 12.650 psi [Brownell, T.13-11]

Asumsi tebal shell =  $3/16$  in

$$t_{s_{min}} = \frac{P \times r_i}{f E - 0,6 P} + C$$

$$3/16 \text{ in} = \frac{14,7000 \text{ psi} \times 27,232 \text{ in}}{f \ 0,8 - 8,8200 \text{ psi}} + 1/8 \text{ in}$$

$$1/16 \text{ in} = \frac{400,3051 \text{ psi in}}{f \ 0,8 - 8,8200 \text{ psi}}$$

$$f = 7.995,078 \text{ psi}$$

f hitung **lebih kecil** dari pada f allowable,  
jadi tebal shell  $3/16$  **DAPAT DIGUNAKAN**

### Menghitung Tutup Bawah Berbentuk Conical

Untuk tebal tutup atas disamakan dengan tebal tutup bawah, karena tutup bawah lebih banyak menerima beban

$$t_c = \frac{P D}{2 \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + C$$

Dengan  $\alpha = 30^\circ$

Asumsi tebal shell =  $3/16$  in

$$t_c = \frac{P D}{2 \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + C$$

$$3/16 = \frac{14,7 \text{ psi} \times 54,4633 \text{ in}}{2 (\cos 30) ((f \ 0,8) - (0,6 \times 14,7))} + 1/8$$

$$1/16 = \frac{800,61025 \text{ psi in}}{1,73 ((f \ 0,8) - (8,8 \text{ psi}))}$$

$$1/16 = \frac{800,61025 \text{ psi in}}{1,3856 f - 15,3 \text{ psi}}$$

$$f = 9.255,7$$

f hitung **lebih kecil** dari pada f allowable,  
jadi tebal shell  $3/16$  **DAPAT DIGUNAKAN**



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### Tinggi Conical

$$h = \frac{\text{tg } \alpha \times (D - m)}{2} \quad [\text{Hesse, pers 4-17 :}]$$

Dengan :  $\alpha$  = sudut conis,  $30^\circ$

D = diameter tangki ; ft

m = flat spot diameter = 12 in = 1 ft

$$h = \frac{\text{tg } \alpha \times (D - m)}{2}$$

$$h = \frac{\text{tg } (30^\circ) \times (4,5386 - 1)}{2}$$

$$h = \frac{0,5773503 \times 3,5386}{2}$$

$$h = 1,0215 \text{ ft}$$

### Spesifikasi Silo :

Fungsi	=	Menampung produk dari Ball Mill
Type	=	Silinder tegak dengan tutup atas datar dan tutup bawah berbentuk conis
Dasar Pemilihan	=	Sesuai untuk bahan solid
Kapasitas	=	117,42 cuft = 3,3243 m <sup>3</sup>
Diameter	=	4,5386 ft = 1,3834 m
Tinggi	=	9,0772 ft = 2,7667 m
Tebal shell	=	3/16 in
Tebal tutup atas	=	3/16 in
Tebal tutup bawah	=	3/16 in
Cone conical	=	30°
Bahan konstruksi	=	Carbon Steel SA-283 Grade C
Waktu tinggal	=	1 Hari
Jumlah	=	1 Buah

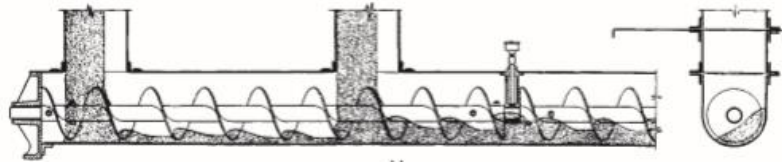


## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 36. SCREW CONVEYOR (J-411)

- Fungsi = Memindahkan bahan dari silo ke rotary packer  
Type = Plain Spouts or Chutes  
Dasar pemilihan = Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup



#### Feed Masuk Screw Conveyor

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5.030,5205	0,996043069	1,5200
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,8759	0,001955434	2,5200
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	-	0	1,8300
NaCl	-	0	2,1630
H <sub>2</sub> O	10,1086	0,002001498	1
<b>Total</b>	<b>5.050,5051</b>	<b>1</b>	

$$\begin{aligned}\text{Rate massa solid} &= 5.050,505 \text{ kg/jam} \\ &= 11.134,49 \text{ lb/jam} \\ &= 3,0929 \text{ lb/detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \\ &= 94,8229 \text{ lb/cuft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\rho \text{ campuran}} \\ \text{solid} &= \frac{11.134,4949}{94,8229} \\ &= 117,4241 \text{ cuft/jam} \\ &= 1,9571 \text{ cuft/menit} \\ &= 14,6399 \text{ gpm}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

$$F = 4 \quad [\text{Badger, Tabel 16-6}]$$

$$\text{Power Motor} = \frac{C \cdot L \cdot W \cdot F}{33.000} \quad [\text{Badger, pers. 16-4}]$$

Keterangan :

C	= Kapasitas	; cuft/menit
L	= Panjang	; ft
W	= Densitas bahan	; lb/cuft
F	= Faktor bahan	

$$\text{Asumsi Panjang Conveyor} \quad , L = 20 \text{ ft} \\ = 6,1 \text{ m}$$

$$\text{Power Motor} = \frac{1,9571 \times 20 \times 94,8229 \times 4}{33.000} \\ = 0,4499 \text{ hp}$$

Untuk power hp <2, maka dikalikan 2 (*Badger : 713*)

$$\text{Power Motor} = 0,4499 \times 2 \\ = 0,8998 \text{ hp}$$

Efisiensi Motor = 80% maka,

$$\text{Power Motor} = \frac{0,8998}{80\%} \\ = 1,1247 \\ \approx 1 \text{ Hp}$$

Dari *Perry 7<sup>ed</sup>, Tabel 21-6 hal 21-8*, berdasarkan kapasitas didapatkan :

Kapasitas maksimum	=	5 ton/jam
Diameter flight	=	9 in
Diameter pipa	=	2 1/2 in
Diameter of shaft	=	2 in
Hanger center	=	10 ft
Diameter feed section	=	6 in
Kecepatan screw conveyor	=	40 rpm



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi Screw Conveyor-3 :

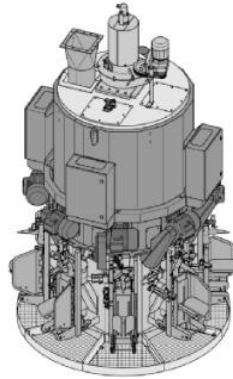
Fungsi	= Memindahkan bahan dari silo ke rotary packer
Type	= Plain spots or chutes
Dasar Pemilihan	= Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup
Kapasitas	= 5050,5051 kg/jam
Rate Volumetrik	= 14,640 gpm
Diameter flight	= 9 in
Diameter pipa	= 2 1/2
Diameter of shaft	= 2 in
Kecepatan (rpm)	= 40
Elevasi	= Horizontal
Panjang	= 20
Efisiensi	= 80%
Power	= 1 hp
Jumlah	= 1



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 37. ROTARY PACKER (J-412)



#### Feed masuk Rotary Packer

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5030,5205	0,9960	1,5200
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9,8759	0,0020	2,5200
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,0000	0	1,8300
NaCl	0,0000	0	2,1630
H <sub>2</sub> O	10,1086	0,0020	1
<b>Total</b>	<b>5050,5051</b>	<b>1</b>	

$$\begin{aligned}\text{Rate massa solid} &= 5050,5051 \text{ kg/jam} \\ &= 11134,495 \text{ lb/jam} \\ &= 3,0929 \text{ lb/detik}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \\ &= 94,8229 \text{ lb/cuft}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\rho \text{ campuran}} \\ \text{solid} &= \frac{11.134,4949}{94,8229} \\ &= 117,4241 \text{ cuft/jam} \\ &= 1,9571 \text{ cuft/menit} \\ &= 14,6399 \text{ gpm}\end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

**Berdasarkan data *feed* yang masuk, maka didapatkan spesifikasi *rotary packer* sebagai berikut :**

Berat Kantong = 50 kg  
Kecepatan putar = 1-5 r/menit  
Power motor = 5,4 hp  
Jumlah spout = 4

### **Spesifikasi *Rotary Packer***

Fungsi = Untuk pengemasan produk berbentuk serbuk  
Type = *Roto Packer* dengan 4 spout  
Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk pengemasan serbuk  
Berat Kantong = 50 kg  
Kecepatan putar = 1-5 r/menit  
Power motor = 5,4 hp  
Jumlah spout = 4





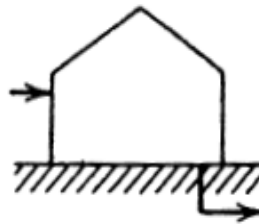
## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 38. GUDANG PRODUK $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ (F-420)

- Fungsi = Menyimpan produk  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  yang sudah dikemas  
Type = Bangunan Segi 4  
Dasar Pemilihan = Digunakan sebagai tempat penyimpanan  
Kondisi Operasi =  
Tekanan = 1 atm (*Atmosfer pressure*)  
Suhu = 30 °C (*Suhu ruang*)  
Waktu Penyimpanan = 3 hari proses

**Inlet**  
 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$



**Outlet**  
 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$

Perhitungan :

Komposisi Bahan :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi Berat	$\rho$ (gram/cc) Perry 7 <sup>ed</sup> ; T.2-1)
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	2400	1	1,5200

$$\begin{aligned} \text{Densitas Campuran} &= \frac{1}{\frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ Komponen}}} \times 62,43 \text{ lb/cuft} \\ &= \frac{1}{1,52} \times 62,43 \\ &= 94,8936 \text{ lb/cuft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Massa} &= 2400 \text{ kg/jam} \\ &= 5291,1120 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} \\ &= \frac{5291,1120 \text{ lb/jam}}{94,8936 \text{ lb/cuft}} \\ &= 55,7584 \text{ cuft/jam} \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Direncanakan penyimpanan untuk 30 hari proses, 3 buah gudang (untuk mempermudah pengeluaran dan pengisian), sehingga volume bahan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Volume Bahan} &= \frac{55,7584 \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 30 \text{ hari}}{3 \text{ tangki}} \\ &= 13382,0076 \text{ cuft} \end{aligned}$$

Asumsi produk mengisi 50% volume gudang (untuk faktor keamanan)

Asumsi ruang penyimpanan produk = 50% volume gudang

$$\begin{aligned} \text{Volume gudang} &= \frac{13382,0076 \text{ cuft}}{50\%} \\ &= 26764,0153 \text{ cuft} \end{aligned}$$

### Dimensi Gudang Penyimpanan:

$$\text{Panjang} = 2x$$

$$\text{Lebar} = x$$

$$\text{Tinggi} = x$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Gudang} &= p \times l \times t \\ 26764,0153 &= 2x \times x \times x \\ 26764,0153 &= 2x^3 \\ 13382,0076 &= x^3 \\ x &= 23,7414 \text{ ft} \end{aligned}$$

Jadi :

$$\text{Panjang} = 47,4829 \text{ ft} = 14,4728 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 23,7414 \text{ ft} = 7,2364 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 23,7414 \text{ ft} = 7,2364 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Alas} &= p \times l \\ &= 47,4829 \times 23,7414 \\ &= 1127,3121 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Gudang} &= p \times l \times t \\ &= 47,4829 \times 23,7414 \times 23,7414 \\ &= 26764,0153 \text{ ft}^3 \\ &= 757,8725 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### Spesifikasi :

Kapasitas	=	2536,2622	cuft
Fungsi	=	Menyimpan produk $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ yang sudah dikemas	
Type	=	Bangunan Segi 4	
Dasar Pemilihan	=	Digunakan sebagai tempat penyimpanan	
Waktu Penyimpanan	=	30 hari proses	
Panjang Gudang	=	21,6480 ft	= 6,5983 m
Lebar Gudang	=	10,8240 ft	= 3,2992 m
Tinggi Gudang	=	10,8240 ft	= 3,2992 m
Jumlah	=	3 buah	



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

---

### APPENDIX D ANALISA EKONOMI

Kapasitas Produksi	=	40000	ton/tahun
	=	5050,5051	kg/jam
Waktu Operasi	=	330	hari
Bahan Baku :			
Natrium Karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	=	3771,6145	kg/jam
Asam Fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )	=	3476,3027	kg/jam
Produk yang dihasilkan :			
Disodium Fosfat (produk utama)	=	5050,5051	kg/jam
Karbon Dioksida (produk samping)	=	1557,9437	kg/jam

Analisa ekonomi di dalam suatu perencanaan pabrik adalah sangat penting, karena perhitungan ekonomi ini dapat diketahui apakah pabrik yang direncanakan ini layak untuk didirikan atau tidak dalam artian *feasible* (memenuhi). Faktor-faktor yang perlu untuk ditinjau antara lain:

1. Laju pengembalian modal (*Rate of Return, ROR*)
2. Laju investasi yang sehat (*Rate of Investment, ROI*)
3. Lama pengembalian modal (*Pay-Out Periode*)
4. Perhitungan Resiko Hutang (*Rate on Equity*)
5. Titik impas (*Break Even Point, BEP*)

Untuk meninjau faktor-faktor diatas, perlu adanya penaksiran terhadap beberapa faktor, yaitu:

1. Penaksiran modal industri (*Total Capital Investment*) yang terdiri atas :
  - a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
  - b. Modal kerja (*Working Capital Investment*)
2. Penentuan biaya produksi total (*Production Cost*) yang terdiri atas:
  - a. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*)
  - b. Biaya pengeluaran umum (*General Expenses*)
3. Total pendapatan



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### 1. Harga Peralatan

Harga peralatan berubah menurut waktu resmi sesuai dengan kondisi ekonomi dunia. Untuk memperkirakan harga peralatan saat ini, digunakan indeks seperti pada persamaan sebagai berikut.

$$C_p = \frac{I_p}{I_o} \times C_o$$

Dimana :

$C_p$  = Harga alat pada tahun pabrik berdiri

$C_o$  = Harga alat pada tahun terakhir

$I_p$  = Cost Index pada tahun pabrik berdiri

$I_o$  = Cost Index pada tahun data terakhir

Perhitungan peralatan didasarkan pada *cost equipment* [www.matche.com](http://www.matche.com).

Sedangkan Cost indeks didasarkan pada 'Peters and Timmerhaus 5ed Plant'. Design and Economic for Chemical Engineering'

**Tabel D.1 Indeks Harga Peralatan**

Tahun	Indeks
2014	576,1
2015	556,8
2016	541,7
2017	567,5
2018	603,1
2019	607,5
2020	596,2
2021	708
2022	813

Sumber:

[https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/tom.rodgers/Interactive\\_graphs/CEPCI.html?reactors/CEPCI/index.html](https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/tom.rodgers/Interactive_graphs/CEPCI.html?reactors/CEPCI/index.html) (diakses pada 27 Juni 2024)

Dengan metode *least square* dan data-data pada tabel di atas dilakukan pendekatan atau penafsiran indeks harga peralatan pada awal tahun dimana data-data tersebut dibentuk dalam persamaan:

$$Y = a + bX$$

keterangan :

Y = indeks harga peralatan pada tahun ke-n

X = tahun ke-n



### Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

n	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	2014	576,1	4056196	331891,21	1160265,4
2	2015	556,8	4060225	310026,24	1121952
3	2016	541,7	4064256	293438,89	1092067,2
4	2017	567,5	4068289	322056,25	1144647,5
5	2018	603,1	4072324	363729,61	1217055,8
6	2019	607,5	4076361	369056,25	1226542,5
7	2020	596,2	4080400	355454,44	1204324
8	2021	708	4084441	501264	1430868
9	2022	813	4088484	660969	1643886
Total	10100	3327,8	36650976	3507885,89	11241608,4

Jumlah data (n) = 9

Dengan menggunakan metode *Least Square* [eq. 17-21, Peters 4ed] diperoleh:

$$\sum (\bar{x} - x)^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 25316531,56$$

$$\sum (\bar{y} - y)^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 2277413,3522$$

eq. 17-20, Peters & Timmerhauss

$$\sum (\bar{x} - x)(\bar{y} - y) = \sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n} = 7507077,3$$

$$b = \frac{\sum (\bar{x} - x)(\bar{y} - y)}{\sum (\bar{x} - x)^2} = 0,29653$$

Rata-rata y =  $\Sigma y / n = a = 370$

Rata-rata x =  $\Sigma x / n = c = 1122$

$$\begin{aligned} y &= a + b(x-c) \\ &= 369,756 + 0,30(x - 1122) \\ &= 369,756 + 0,30x - 332,8 \\ &= 37,0 + 0,30x \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas diperoleh indeks harga pada tahun 2028 sebesar :

$$\begin{aligned} y &= 37,0 + 0,30(2028) \\ &= 638,3446 \end{aligned}$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Kurs Dollar pada tahun 2024      sumber: <http://www.kursdollar.org>  
(US \$) 1 = Rp 16.367,48      (diakses pada 28 Juni 2024)

### Contoh perhitungan harga peralatan

#### Reaktor (R-210)

Kapasitas = 2998,7324 gal

Indeks harga tahun 2014 = 576,1

Indeks harga tahun 2028 = 638,34

Harga alat pada tahun 2014 = \$ 8.700

$$\begin{aligned} \text{Harga alat pada tahun 2028} &= \$ 80.300 \times \frac{638,34}{576,1} \times \frac{2998,7324}{600}^{0,54} \\ [\text{sumber exp; Peter pg.170}] & \\ &= \$ 212.137,56 \end{aligned}$$

**Tabel D.2 Harga Peralatan Proses**

No.	Nama Alat	Harga Unit (US \$)		Jml	Harga (US \$)
		2014	2028		
1	Gudang Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	59.000	349.911	3	1.049.732
2	Hopper Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	11.200	8.303	8	63.827
3	Screw Conveyor-1	8.700	15.530	1	15.530
4	Bucket Elevator-1	11.800	21.064	1	21.064
5	Tangki Pelarutan	31.200	36.762	1	36.762
6	Pompa-1	6.900	6.525	1	6.525
7	Heater-1	20.300	52.874	1	52.874
8	Tangki H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	92.300	102.060	3	306.179
9	Pompa-2	7.500	7.815	1	7.815
10	Heater-2	18.500	81.096	1	81.096
11	Reaktor	80.300	212.138	1	212.138
12	Pompa-3	8.255	8.829	1	8.829
13	Compressor	8.600	8.027	1	8.027
14	Tangki Penampung CO <sub>2</sub>	52.000	409.448	4	1.637.794
15	Evaporator	90.800	95.973	1	95.973
16	Pompa-4	7.000	7.290	1	7.290
17	Evaporator II	90.800	95.973	1	95.973
18	Pompa-5	7.000	7.720	1	7.720
19	Kondensor	36.700	38.395	1	38.395
20	<i>Crystallizer</i>	127.800	271.642	2	543.283
21	<i>Centrifuge</i>	39.750	42.579	1	42.579
22	Pompa-6	5.390	5.677	1	5.677
23	Screw Conveyor-2	9.500	16.958	1	16.958
24	Rotary Dryer	210.500	447.375	1	447.375
25	Cyclone	6.700	9.113	1	9.113
26	Blower	16.700	18.211	1	18.211



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

27	Heater-3	17.600	44.428	1	44.428
28	<i>Cooling Conveyor</i>	8.600	9.529	1	9.529
30	Bucket Elevator-2	13.400	14.848	1	14.848
31	Ball Mill	354.500	392.802	1	392.802
32	Hopper	126.700	484.320	1	484.320
33	Screw Conveyor-3	9.500	16.958	1	16.958
34	Bucket Elevator-3	13.400	23.920	1	23.920
35	Silo Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	126.700	484.454	1	484.454
36	Screw Conveyor-4	9.500	16.958	1	16.958
37	Gudang Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	59.000	349.911	1	349.911
<b>Total</b>					<b>6.674.864</b>

**Tabel D.3 Harga Peralatan Utilitas**

No.	Nama Alat	Harga Unit (US \$)		Jml	Harga (US \$)
		2014	2028		
1	Pompa Penampung Air Sungai	6.300	20.098	1	20.098
2	Pompa Tangki	6.300	15.536	1	15.536
3	Pompa Bak Penampung Air Sanitasi	6.300	5.445	1	5.445
4	Pompa Tangki Kation Exchanger	9.125	2.713	1	2.713
5	Pompa Tangki Anion Exchanger	6.300	1.898	1	1.898
6	Pompa Air Proses	8.240	8.094	1	8.094
7	Pompa Air Umpan	6.300	6.846	1	6.846
8	Pompa Air Pendingin	9.700	10.153	1	10.153
9	Pompa Cooling Tower	9.700	10.439	1	10.439
10	Pompa Recycle Air Pendingin	6.300	6.182	1	6.182
11	Pompa Air Pendingin ke Plant	9.700	9.369	1	9.369
12	Pompa Tangki Clarifier	6.300	14.919	1	14.919
13	Pompa Sand Filter	6.300	14.859	1	14.859
14	Bak Penampung Air	12.300	101.267	2	202.535
15	Tangki Koagulasi	31.200	55.823	2	111.646
16	Tangki Flokulasi	50.400	133.875	1	133.875
17	Clarifier	35.400	59.221	2	118.442
18	Bak Penampung Flok	12.000	88.511	2	177.022
19	Bak Penampung Air Bersih-1	12.300	34.741	2	69.482
20	Sand Filter	33.100	93.490	2	186.981





## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

21	Bak Penampung Air Bersih-2	15.600	110.275	1	110.275
22	Bak Penampung Air Bersih untuk Sanitasi	36.500	679.781	1	679.781
23	Tangki Kation	32.400	329.391	1	329.391
24	Tangki HCl	35.900	163.289	1	163.289
25	Tangki Anion	29.600	292.978	1	292.978
26	Tangki NaOH	31.900	106.495	1	106.495
27	Bak Penampung Air Lunak	14.500	348.443	1	348.443
28	Bak Penampung Air Pendingin	5.600	14.472	1	14.472
29	Bak Penampung Air Proses	23.000	145.340	1	145.340
30	Boiler	105.600	211.159	1	211.159
31	Cooling Tower	90.500	108.283	1	108.283
32	Generator Set	34.000	37.674	2	75.347
33	Tangki Penyimpanan Bahan Bakar	6.000	6.648	2	13.297
<b>Total</b>					<b>3.725.084</b>

$$\begin{aligned} \text{Total Harga Peralatan} &= \text{Harga Peralatan Proses} + \text{Harga Peralatan Utilitas} \\ &= \$ 6.674.864 + \$ 3.725.084 \\ &= \$ 10.399.948 \\ &= \text{Rp } 170.220.937.403 \end{aligned}$$

## II. Harga Bahan Baku

### 1. Natrium Karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

$$\begin{aligned} \text{Harga} &= \text{Rp } 6.723,05 / \text{kg} \\ \text{Kebutuhan} &= 3782,9634 \text{ kg/jam} \\ \text{Biaya per Tahun (330 hari)} &= \text{Rp } 201.429.773.325 / \text{thn} \end{aligned}$$

### 2. Asam Fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

$$\begin{aligned} \text{Harga} &= \text{Rp } 15.600 / \text{kg} \\ \text{Kebutuhan} &= 5348,1580 \text{ kg/jam} \\ \text{Biaya per Tahun (330 hari)} &= \text{Rp } 660.775.615.832 / \text{thn} \end{aligned}$$

$$\text{Total biaya bahan baku/thn} = \text{Rp } 862.205.389.157$$



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### III. HARGA JUAL PRODUK

#### 1. Produk Utama : Disodium Phosphate Hephhydrate

Produk yang dihasilkan	=	5050,5051	kg/jam
Harga produk yang dihasilkan	=	Rp 41.000	/kg
Harga produk per tahun	=	Rp 1.813.939.393.939	

#### 2. Produk Samping : Karbon Dioksida

$\rho$ CO <sub>2</sub> (50 bar)	=	0,2665	kg/L
Produk yang dihasilkan	=	1557,9437	kg/jam
	=	5845,9424	L/jam
Harga produk yang dihasilkan	=	Rp 150.000	/50 Liter
Harga produk per tahun	=	Rp 138.899.592.196	

### IV. BIAYA PENGEMASAN

#### 1. Produk Utama : Disodium Phosphate Hephhydrate

Produk yang dihasilkan	=	40000	ton/tahun
Produk dikemas dalam bag	=	50	kg
Kebutuhan bag/tahun	=	800000	buah
Harga 1 bag	=	Rp 3.000	
Biaya pengemasan per tahun	=	Rp 2.400.000.000	

#### 2. Produk Samping : Karbon Dioksida

Produk yang dihasilkan	=	5845,9424	L/Jam
Produk dikemas dalam tangki	=	50	L
Kebutuhan tangki/tahun	=	38583,2201	buah
Harga 1 tangki	=	Rp 110.000	
Biaya pengemasan per tahun	=	Rp 4.244.154.206	
Total biaya pengemasan per tahun	=	Rp 6.644.154.206	
Biaya pendukung (15% pengemasan)	=	Rp 996.623.131	+
<b>Total biaya pengemasan produk</b>	=	Rp 7.640.777.337	

<b>Total biaya penjualan</b>	=	Total harga jual produk + Biaya pengemasan
	=	Rp 1.960.479.763.472



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

### V. GAJI KARYAWAN

Jabatan	Gaji/Org/Bln	Jml	Gaji/Bulan
Direktur Utama	Rp 45.000.000	1	Rp 45.000.000
Sekretaris Direktur	Rp 9.000.000	3	Rp 27.000.000
Direktur Admin. & Keuangan	Rp 40.000.000	1	Rp 40.000.000
Direktur Teknik & Proses	Rp 40.000.000	1	Rp 40.000.000
Staff Ahli	Rp 15.000.000	2	Rp 30.000.000
Kepala Bagian Keuangan	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Bagian Pemasaran	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Bagian Umum	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Bagian Produksi	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Bagian Teknik	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Seksi Pembelian	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Anggaran	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Gudang	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Pemasaran & Penjualan	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Keamanan	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Administrasi	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Personalia	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Produksi & Proses	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Riset & Pengembangan	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Utilitas & Tenaga	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Kepala Seksi Pemeliharaan & Perbaikan	Rp 7.500.000	1	Rp 7.500.000
Karyawan Pembelian	Rp 4.500.000	3	Rp 13.500.000
Karyawan Laboratorium	Rp 4.500.000	3	Rp 13.500.000
Karyawan Gudang	Rp 4.000.000	6	Rp 24.000.000
Karyawan Pemasaran	Rp 4.000.000	10	Rp 40.000.000
Karyawan Keamanan	Rp 4.000.000	6	Rp 24.000.000
Karyawan Adminstrasi	Rp 4.000.000	3	Rp 12.000.000
Karyawan Personalia	Rp 4.000.000	6	Rp 24.000.000
Karyawan Produksi & Proses	Rp 5.500.000	50	Rp 275.000.000
Karyawan Riset & Pengembangan	Rp 4.000.000	6	Rp 24.000.000
Karyawan Utilitas	Rp 5.000.000	15	Rp 75.000.000
Karyawan Pemeliharaan	Rp 4.000.000	6	Rp 24.000.000
Karyawan Quality Control	Rp 4.000.000	6	Rp 24.000.000
Karyawan K3	Rp 4.500.000	6	Rp 27.000.000
Dokter	Rp 8.000.000	3	Rp 24.000.000
Perawat	Rp 4.000.000	3	Rp 12.000.000
Sopir	Rp 3.500.000	6	Rp 21.000.000
Office Boy	Rp 3.500.000	4	Rp 14.000.000
Petugas Kebersihan	Rp 3.500.000	10	Rp 35.000.000
Satpam	Rp 3.500.000	9	Rp 31.500.000



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

<b>Jumlah</b>	185	Rp 1.052.000.000
---------------	-----	------------------

Gaji per bulan = Rp 1.052.000.000

Gaji per tahun = **Rp 13.676.000.000**

## VI. BIAYA UTILITAS

### a. Kebutuhan Air

#### 1. Air Sanitasi

Kebutuhan per hari = 42,7750 m<sup>3</sup>/hari

Harga air mengolah sendiri = Rp 1.500 /m<sup>3</sup>

Biaya pengolahan/tahun = Rp 21.173.625 /thn

#### 2. Air Umpan Boiler

Kebutuhan air umpan boiler = 68,5119 m<sup>3</sup>/hari

H. air boiler mengolah sendi = Rp 750 /m<sup>3</sup>

Biaya pengolahan/tahun = Rp 16.956.684 /thn

#### 3. Air Pendingin

Kebutuhan air pendingin = 4,3309 m<sup>3</sup>/hari

Harga air pendingin = Rp 1.000 /m<sup>3</sup>

Biaya pengolahan per tahun = Rp 1.429.205 /thn

#### 4. Air Proses

Kebutuhan air proses = 65,2736 m<sup>3</sup>/hari

Harga air proses = Rp 1.000 /m<sup>3</sup>

Biaya pengolahan per tahun = Rp 21.540.273 /thn

### b. Kebutuhan Penunjang Pengolahan Air

Kebutuhan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> = 1537,0698 kg/tahun

Harga Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> = Rp 17.945 /kg (alibaba.com)

Biaya Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/thn = Rp 27.582.718

Kebutuhan PAC = 384,2982 kg/tahun

Harga PAC = Rp 26.924 /kg (alibaba.com)

Biaya PAC per tahun = Rp 10.346.845

Kebutuhan resin kation = 15713,5968 L/tahun

Harga resin dowex = Rp 921.000 /25 L (tokopedia.com)

Biaya Dowex per tahun = Rp 578.888.905

Kebutuhan resin anion = 14992,7621 L/tahun

Harga resin dowex = Rp 35.000 /L (tokopedia.com)

Biaya Dowex per tahun = Rp 524.746.674



## Pra Rencana Pabrik

“Pabrik Disodium Fosfat dari Natrium Karbonat dan Asam Fosfat dengan Proses Kristalisasi Menggunakan *Double Effect Evaporator*”

Kebutuhan HCl 33%	=	3.757,1722 L/tahun
Harga HCl	=	Rp 12.000 /liter (tokopedia.com)
Biaya HCl per tahun	=	Rp 45.086.067
Kebutuhan NaOH	=	2.183,7603 kg/tahun
Harga NaOH	=	Rp 25.000 /kg (PT. Miwon)
Biaya NaOH per tahun	=	Rp 54.594.007

### c. Kebutuhan Bahan Bakar (*Fuel Oil*)

Kebutuhan bahan bakar	=	339,6649 liter/jam
	=	2902097,3159 liter/tahun
Harga bahan bakar	=	Rp 15.500 /liter
sumber: solarindustrisurabaya.com (diakses pada 28 Juni 2024)		
Biaya bahan bakar/tahun	=	Rp 44.982.508.397

### d. Kebutuhan listrik

Kebutuhan listrik	=	508,0787 kWh/jam
	=	4450769,2120 kWh/tahun
Harga listrik	=	Rp 1.112,00 /kWh
(PERMEN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL RI No. 28 Tahun 2016)		
Biaya listrik per tahun	=	Rp 4.949.255.364

**Total biaya utilitas per tahun = Rp 51.234.108.763**

## VII. Harga Tanah dan Bangunan

Luas tanah	=	23098 m <sup>2</sup>
Harga tanah per m <sup>2</sup>	=	Rp 2.850.000
sumber: olx.co.id (diakses pada 28 Juni 2024)		

**Harga tanah total = Rp 65.829.300.000**

Luas bangunan pabrik	=	7509 m <sup>2</sup>
Harga bangunan pabrik per m <sup>2</sup>	=	Rp 2.300.000
sumber: olx.co.id (diakses pada 28 Juni 2024)		

**Harga bangunan pabrik total = Rp 17.270.700.000**

Luas bangunan gedung	=	4171 m <sup>2</sup>
Harga bangunan gedung per m <sup>2</sup>	=	Rp 2.300.000
sumber: olx.co.id (diakses pada 28 Juni 2024)		

**Harga bangunan gedung total = Rp 9.593.300.000**

**Harga bangunan total = Rp 26.864.000.000**

**Total harga tanah dan bangunan = Rp 92.693.300.000**