BAB IX
TUGAS KHUSUS

IX. 1. Perhitungan Neraca Massa

IX.1. 1 Perhitungan Neraca Massa Stasiun Pemurnian

1) Data Perhitungan

Tebu Digiling / Hari	=	3.000,00	ton
Nira Mentah % tebu	=	105,00	%
% brix nira mentah	=	12,81	%
HK Nira Mentah	=	73,40	
% brix nira jernih	=	14,25	%
HK Nira Jernih	=	77,30	
% pol nira jernih	=	11,01	%
% pol blotong	=	5,11	%
Nira Kotor % tebu	=	12,53	%
Zat Kering Blotong	=	30,02	%
Blotong % tebu	=	2,61	
Air pencuci % blotong	=	100	
Zat Kering Ampas	=	48,17	%
%pol ampas	=	3,02	%
Ampas % tebu	=	22,79	%

2) Perhitungan

a) Kebutuhan Kapur (kemurnian 85%) = $\frac{0,85}{100} \times \frac{3000}{1000}$

= 2,61 ton/hari

= 0,11 ton/jam

= 0,087 % tebu

Larutan $Ca(OH)_2$ dengan konsentrasi 6 ^{o}Baume :

- Kadar CaO = 56 gr/L

  = 56 kg/m^3

- Densitas = 1,045 ton/m^3

Volume larutan $Ca(OH)_2 = \frac{2,61 \times 1000}{56}$

$= 46,62 \text{ m}^3\text{/hari}$

$= 1,94 \text{ m}^3\text{/jam}$

Berat larutan $Ca(OH)_2 = 46,62 \times 1,045$

$= 48,72$ ton/hari

$= 2,03$ ton/jam

b) Kebutuhan Belerang $= \frac{38,54}{100} \times \frac{3000}{1000}$

$= 1,156$ ton/hari

$= 0,048$ ton/jam

$= 0,039$ % tebu

Gas SO_2 yang terentuk $= \frac{64}{32} \times 1,156$

$= 2,312$ ton/hari

$= 0,096$ ton/jam

$= 0,077$ %tebu

Densitas Gas SO_2 pada 0^oC, 760 mmHg = 0,1828 lb/cuff

$= 2,9281 \text{ kg/m}^3$

Densitas Gas SO_2 pada 30^oC, 760 mmHg $= 2,928 \times \left(\frac{273}{373+30}\right) \times \frac{760}{760}$

$= 2,638 \text{ kg/m}^3$

Volume Gas SO_2 yang terjadi $= \frac{2,312}{2,638} \times 1000$

$= 876,49 \text{ m}^3\text{/hari}$

$= 36,52 \text{ m}^3\text{/jam}$

$= 29,22$ %tebu

SO yang terserap nira mentah (asumsi = 50%) $= \frac{50}{100} \times 2,312$

$= 1,156$ ton/hari

$= 0,048$ ton/jam

$= 0,039$ %tebu

c) Kebutuhan Phosphat $= \frac{7,95}{100} \times \frac{3000}{1000}$

$= 0,239$ ton/hari

$= 0,010$ ton/jam

= 0,008 %tebu

d) Kebutuhan Floculant = $\frac{0,410}{100} \times \frac{3000}{1000}$

= 0,0123 ton/hari

= 0,0005 ton/jam

= 0,00041 %tebu

Larutan Floculant = $\frac{0,0123}{0,0010}$

= 12,3000 ton/hari

= 0,5125 ton/jam

e) Brix NM % tebu = %brix NM x NM % tebu

= 12,81 x 105,00

= 13,45

Pol NM % tebu = HK NM x NM % tebu

= 73,40 x 13,45

= 9,87

f) ZK Blotong % tebu = ZK Blotong x Blotong % tebu

= 0,30 x 2,61

= 0,78

Pol Blotong % tebu = % pol Blotong x Blotong % tebu

= 5,11 x 2,61

= 0,13

Brix Blotong % tebu = Brix NM % tebu – Brix NE % tebu

= 13,45 – 13,49

= -0,04

g) ZK Ampas % tebu = ZK ampas x Ampas % tebu

= 0,4817 x 22,79

= 10,9779

Pol Ampas % tebu = % pol ampas x Ampas % tebu

= 0,030 x 22,79

= 0,688

h) Pol Nira Jernih % tebu

= % brix nira mentah x HK nira mentah x $\frac{100}{100 - Pol\ Blotong\ \%\ tebu}$

= 12,81 x $\frac{73,40}{100}$ x $\frac{100}{100-0,133}$

= 9,42

Nira Jernih % tebu = $\frac{Pol\ Nira\ Jernih\ \%\ tebu}{\%\ pol\ nira\ jernih}$

= $\frac{10,42}{11,01}$

= 94,64

Brix Nira Jernih % tebu = % brix nira jernih x nira jernih % tebu

= 14,25 x 94,64

= 13,49

i) Nira Mentah Sulfitasi % tebu = Nira kotor % tebu + Nira encer % tebu

= 12,53 + 94,64

= 107,17

j) Nira Tapis % tebu

= Nira mentah sulfitasi % tebu – susu kapur % tebu – Gas SO_2 yang terserap tebu – Nira mentah % tebu

= 107,17 – 0,62 – 0,039 – 100,00

= 6,51

k) Missal % brix nira mentah sulfitasi = X

Brix Nira Mentah = Brix Nira Mentah Sulfitasi

13,45 = $\frac{X}{100} \times 107,17$

X = 12,5504

Jadi % brix nira mentah sulfitasi = 12,5504

Rekapitulasi Neraca Stasiun Pemurnian

No	Bahan	% brix	% tebu	Berat (ton/jam)	BJ (ton/m^3)	Volume (m^3/jam)
1	Nira Mentah Sulfitasi	12,55048	107,17	133,96	1,046	128,02
2	Nira Jernih	14,25	94,64	118,30	1,054	112,29
3	Nira Kotor	-	12,53	15,7	1,060	11,79
4	Nira Tapis	-	6,51	0,00905	-	-
5	Kapur	-	0,09	0,109	-	-
6	Susu Kapur	-	1,62	2,030	-	1,94
7	Belerang	-	0,04	0,048	-	-
8	Gas SO_2	-	0.08	0,096	-	36,52
9	Phosphat	-	0,01	0,010	-	-
10	Floculant	-	0,00041	0,00051	-	-
11	Larutan Floculant	-	0,41	0,513	-	-

IX.1. 2 Perhitungan Neraca Massa Stasiun Penguapan

1) Data Perhitungan

Nira mentah % tebu	=	105,00	
%brix nira mentah	=	12,81	
%brix nira jernih	=	14,25	
%brix nira kental	=	64,00	
Tekanan exhaust steam	=	0,50	kg/cm^2 G
Tekanan Evaporator IV	=	64	cmHg

Vapour Bleeding

A. Uap Nira Evaporator I digunakan sebagai bahan pemanas pada secondary heater (750 ^oC - 1050 ^oC) dan Vacuum Pan

B. Uap Nira Evaporator II digunakan sebagai bahan pemanas pada primary heater (300 ^oC - ^oC)

2) Perhitungan

Pada tekanan = 0 cmHg Vac.
= 76 cmHg abs.
= 1,033 kg/cm^2 abs.

Tekanan exhaust steam = 0,5 kg/cm^2 G
= 1,533 kg/cm^2 abs
= 112,786 cmHg abs

Tekanan Evaporator IV = 64 cmHg vac
= 12 cmHg abs

Total pressure drop dalam evaporator = 112,7860 – 12
= 100,8 cmHg abs

Distribusi tekanan dalam evaporator ditentukan berdasarkan Tabel 32.23 Hugot 2nd ed. Hal. 579 sebagai berikut :

Evaporator	Pressure Drop	Tekanan
I	$= \left(\frac{11}{40}\right) \times 101$ cmHg abs $= 27{,}7161$ cmHg abs	$= (112{,}7860 - 27{,}7162)$ cmHg $= 85{,}0698$ cmHg abs $= 0{,}1232$ kg/cm^2 G
II	$= \left(\frac{10{,}3}{40}\right) \times 101$ cmHg abs $= 25{,}9524$ cmHg abs	$= (85{,}0698 - 25{,}9524)$ cmHg $= 59{,}1174$ cmHg abs $= 16{,}8825$ kg/cm^2 G
III	$= \left(\frac{9{,}7}{40}\right) \times 101$ cmHg abs $= 24{,}4406$ cmHg abs	$= (59{,}1174 - 24{,}4406)$ cmHg $= 34{,}6768$ cmHg abs $= 41{,}3231$ kg/cm^2 G
IV	$= \left(\frac{9}{40}\right) \times 101$ cmHg abs $= 22{,}6768$ cmHg abs	$= (34{,}6768 - 22{,}6769)$ cmHg $= 12{,}00$ cmHg abs $= 64{,}00$ kg/cm^2 G

Temperatur uap nira dan Panas laten dari tiap-tiap evaporator ditentukan dari steam table (tabel 41.1 A Hugot 2nd ed. Hal 1034) pada tekanan uap yang sesuai dengan cara interpolasi :

Evaporator	Tekanan uap / vacuum	Temperatur uap	Panas latent
I	0,1232 kg/cm^2 G	103 ^{o}C	536,9 kcal/gr
II	16,8825 cmHg vac	93 ^{o}C	543,3 kcal/gr
III	41,3231 cmHg vac	79 ^{o}C	552,0 kcal/gr
IV	64,00 cmHg vac	55 ^{o}C	566,1 kcal/gr

Keterangan :

a. = 0,1232 kg/cm^2 G

= 1,1563 kg/cm^2 abs

Interpolasi dari tabel 41.1 hal. 1036 = 103 ^{o}C

b. = 16,8825 cmHg vac

= 59,117 cmHg abs

= 0,8035 kg/cm^2 abs

Interpolasi dari tabel 41.1 hal. 1036 = 93 ^{o}C

c. = 41,3231 cmHg vac

= 34,677 cmHg abs

= 0,4713 kg/cm^2 abs

Interpolasi dari tabel 41.1 hal. 1036 = 79 ^{o}C

d. = 64,00 cmHg vac

= 12,00 cmHg abs

= 0,1631 kg/cm^2 abs

Interpolasi dari tabel 41.1 hal. 1036 = 55 ^{o}C

Panas latent exhaust steam (t = 111 ^{o}C) = 531,8 kcal/gr

Panas latent Uni Evap. I (t = 103 ^{o}C) = 536,9 kcal/gr

Panas latent Uni Evap. II (t = 93 ^{o}C) = 543,3 kcal/gr

Cp nira mentah belum terkapuri = (1 – 0,006 x % brix)

= (1 – 0,006 x 12,81)

= 0,9231

Cp nira mentah sulfitasi = (1 – 0,006 x % brix)

= (1 – 0,006 x 12,55)

= 0,9246

Flow rate nira masuk primary heater

= Nira mentah % tebu + Nira tapis % tebu

= 105,00 + 6,51

= 111,51 % tebu

Flow rate nira masuk secondary heater

= Nira mentah sulfitasi % tebu

= 107,17 % tebu

Kebutuhan uap nira evaporator II untuk primary heater (30 ^oC - 75 ^oC)

$= \frac{Flow\ rate\ nira\ masuk \times Cp \times (selisih\ temp.) \times density}{panas\ latent}$

$= \frac{111{,}51\ \%\ tebu \times 0{,}923 \times (75-30)^{o}C \times 1{,}05}{543{,}3}$

= 8,95 % tebu

= 11,19 ton/jam

Kebutuhan uap nira evaporator I untuk secondary heater (75 ^oC - 105 ^oC)

$= \frac{Flow\ rate\ nira\ masuk \times Cp \times (selisih\ temp.) \times density}{panas\ latent}$

$= \frac{107{,}17\ \%\ tebu \times 0{,}9247 \times (105-75)^{o}C \times 1{,}05}{536{,}9}$

= 5,81 % tebu

= 7,27 ton/jam

Dari perhitungan material balance Stasiun Kristalisasi diperoleh :

Penguapan dari masecuite A =

Penguapan dari masecuite C =

Penguapan dari masecuite D =

Total penguapan A, C, dan D = 9,51115 % tebu

Tekanan dalam Vacuum Pan = 63 cmHg vac

= 13 cmHg abs

= 0,1766 kg/cm^2 abs

Dari steam table didapat :

Temperatur = 57 ^oC

Panas latent = 565 kcal/gram

Kebutuhan uap nira Evaporator I untuk Vacuum Pan

$= \frac{Total\ penguapan\ msk\ \%\ tebu \times panas\ latent\ VP \times density}{panas\ latent\ Uni\ I}$

$= \frac{9{,}51115 \times 565 \times 1{,}05}{536{,}9}$

= 10,5093 % tebu

Total penguapan dalam evaporator

$= Nira\ Jernih\ \%\ tebu\ \times\ \left(1 - \frac{\%\ brix\ nira\ jernih}{\%\ brix\ nira\ kental}\right)$

$= 95{,}64\ \times\ \left(1 - \frac{14{,}24}{64{,}00}\right)$

= 73,57 % tebu

Nira kental % tebu = Nira Jernih % tebu - Total Penguapan % tebu

= 94,64 – 73,57

= 21,07 % tebu

Kapasitas penguapan tiap-tiap evaporator :

(misal penguapan dalam evap. IV = X)

Evaporator IV = X

Evaporator III = X

Evaporator II = X + 8,95

Evaporator I = X + 8,95 + 5,81 + 10,5093 +

Total = 4X + 34,23

Menghitung X

4X + 34,23 = 73,57

Didapat X = 9,83 % tebu

Kapasitas penguapan tiap-tiap evaporator :

Evaporator I = 35,11 % tebu

Evaporator II = 18,79 % tebu

Evaporator III = 9,83 % tebu

Evaporator IV = 9,83 % tebu +

Total = 73,57 % tebu

Flow rate nira keluar tiap-tiap evaporator :

Nira keluar evaporator I

= Nira Jernih % tebu - Kaps. Penguapan evap. I

= 94,64 – 35,11

= 59,53 % tebu

Nira keluar evaporator II

= Nira Jernih % tebu evap. I - Kaps. Penguapan evap. II

= 59,53 – 18,79

= 40,74 % tebu

Nira keluar evaporator III

= Nira Jernih % tebu evap. II - Kaps. Penguapan evap. III

= 40,74 – 9,83

= 30,91 % tebu

Nira keluar evaporator IV

= Nira Jernih % tebu evap. III - Kaps. Penguapan evap. IV

= 30,91 – 9,83

= 21,07 % tebu

% brix nira keluar tiap-tiap evaporator :

% brix nira masuk evaporator I = 14,25

% brix nira keluar evaporator I

$= \%\ brix\ nira\ masuk\ evap. I \times \frac{Nira\ jernih\ \%\ tebu}{NJ\ \%\ tebu - kaps.\ penguapan\ evap.\ I}$

$= 14{,}25 \times \frac{94{,}64}{94{,}64 - 35{,}11}$

= 22,65

% brix nira keluar evaporator II

$= \%\ brix\ nira\ masuk\ evap. I \times \frac{Nira\ jernih\ \%\ tebu}{Nira\ keluar\ evap.\ II}$

$= 14{,}25 \times \frac{94{,}64}{40{,}74}$

= 33,10

% brix nira keluar evaporator III

= $\% \ brix\ nira\ masuk\ evap.I\ \times \frac{Nira\ jernih\ \%\ tebu}{Nira\ keluar\ evap.\ III}$

= $14{,}25\ \times \frac{94{,}64}{30{,}91}$

= 43,63

% brix nira keluar evaporator IV

= $\% \ brix\ nira\ masuk\ evap.I\ \times \frac{Nira\ jernih\ \%\ tebu}{Nira\ keluar\ evap.\ IV}$

= $14{,}25\ \times \frac{94{,}64}{21{,}07}$

= 64

Jumlah air kondesat :

Asumsi : uap pemanas yang digunakan seluruhnya dapat mengembun dan temperatur kondensat dianggap sama dengan temperatur uap.

Dengan demikian density kondensat dapat ditentukan dengan cara interpolasi sebagai berikut :

Evaporator	Temperatur kondensat	Densitas kondensat
I	111 ^oC	951,54 kg/m^3
II	103 ^oC	956,76 kg/m^3
III	93 ^oC	963,30 kg/m^3
IV	79 ^oC	972,45 kg/m^3

Kondensat evaporator I = 35,11 % tebu

= $\frac{35{,}11}{100} \times 3000$ = 1053,34 ton/hari

= $\frac{1053{,}34 \times 1000}{951{,}54 \times 24}$

= 46,12 m^3/jam

Kondensat evaporator II = 18,79 % tebu

= $\frac{18{,}79}{100} \times 3000$ = 563,63 ton/hari

= $\frac{563{,}63 \times 1000}{956{,}76 \times 24}$

= 24,55 m^3/jam

Kondensat evaporator III = 9,83 % tebu

$= \frac{9,83}{100} \times 3000$ = 295,05 ton/hari

$= \frac{295,05 \times 1000}{963,30 \times 24}$

= 12,76 m^3/jam

Kondensat evaporator IV = 9,83 % tebu

$= \frac{9,83}{100} \times 3000$ = 295,05 ton/hari

$= \frac{295,05 \times 1000}{972,45 \times 24}$

= 12,64 m^3/jam

Perhitungan Volumetrik :

No	Bahan	% brix	BJ (ton/ m^3)
1	Nira Jernih	14,25	1,0536
2	Nira keluar evaporator I	22,65	1,0901
3	Nira keluar evaporator II	33,10	1,1374
4	Nira keluar evaporator III	43,63	1,1846
5	Nira keluar evaporator IV	64	1,2760

Nira Jernih % tebu = 94,64 % tebu

$= \frac{94,64}{100} \times 3000$ = 2839,24 ton/hari

$= \frac{2839,24}{1,0536 \times 24}$

= 112,29 m^3/jam

Nira keluar evaporator I % tebu = 59,53 % tebu

$= \frac{59,53}{100} \times 3000$ = 1785,90 ton/hari

$= \frac{1785,90}{1,0901 \times 24}$

= 68,26 m^3/jam

Nira keluar evaporator II % tebu = 40,74 % tebu

$= \frac{40,74}{100} \times 3000$ = 1222,27 ton/hari

$= \frac{1222,27}{1,1374 \times 24}$

$= 44{,}78\ m^3/jam$

Nira keluar evaporator III % tebu = 30,91 % tebu

$= \frac{30{,}91}{100} \times 3000 = 927{,}22$ ton/hari

$= \frac{927{,}22}{1{,}1846 \times 24}$

$= 32{,}61\ m^3/jam$

Nira keluar evaporator IV % tebu = 21,07 % tebu

$= \frac{21{,}07}{100} \times 3000 = 632{,}17$ ton/hari

$= \frac{632{,}17}{1{,}2760 \times 24}$

$= 20{,}64\ m^3/jam$

Perhitungan kebutuhan air pendingin kondensor :

Kondisi vacuum evaporator IV = 64 cmHg vac

Temperatur uap jenuh evap. IV (tv) = 55 ^oC

Temperatur air pendingin masuk (t1) = 30 ^oC

Temperatur air pendingin keluar (t2) = 42 ^oC

Cooling water ratio : (Hugot hal.864)

$W = \frac{607 + 0{,}3\ tv - t2}{t2 - t1}$

$= \frac{607 + 0{,}3 \times 55 - 42}{42 - 30}$

= 48,4583 kg air/kg uap

Kapasitas penguapan evaporator IV = 9,83 % tebu

$= \frac{9{,}83}{100} \times 3000$

= 295,05 ton/hari

Kebutuhan air pendingin untuk kondensor evaporator :

= 48,4583 x 295,05

= 14297,53 ton/hari

$= 595{,}7304\ m^3/jam$

Rekapitulasi Material Balance Stasiun Penguapan

No	Bahan	% tebu	Berat (ton/jam)	Volume (m^3/jam)	% brix
1	Nira jernih	94,64	118,30	112,29	14,25
2	Nira keluar evaporator I	59,53	74,41	68,26	22,65
3	Nira keluar evaporator II	40,74	50,93	44,78	33,10
4	Nira keluar evaporator III	30,91	38,63	32,61	43,63
5	Nira kental	21,07	26,34	20,64	64
6	Kaps. Penguapan evaporator I	35,11	43,89	-	-
7	Kaps. Penguapan evaporator II	18,79	23,48	-	-
8	Kaps. Penguapan evaporator III	9,83	12,29	-	-
9	Kaps. Penguapan evaporator IV	9,83	12,29	-	-
10	Kondensat evaporator I	-	-	46,12	-
11	Kondensat evaporator II	-	-	24,55	-
12	Kondensat evaporator III	-	-	12,76	-
13	Kondensat evaporator IV	-	-	12,64	-