



BAB IX

URAIAN TUGAS KHUSUS

IX.1 Latar Belakang

Indonesia, sebagai negara yang kaya akan sumber daya alam, memiliki potensi pertanian yang sangat beragam. Sektor pertanian berkontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi nasional, terutama dalam memenuhi kebutuhan dasar masyarakat. Salah satu produk penting dari sektor pertanian adalah gula kristal putih (GKP), yang dihasilkan dari tebu melalui serangkaian proses pengolahan. Proses pengolahan tebu menjadi gula kristal putih terdiri dari proses persiapan, penggilingan, pemurnian, penguapan, pemasakan, putaran, dan penyelesaian. Proses persiapan bertujuan untuk mempersiapkan tebu sebelum digiling. Pada proses penggilingan, tebu diperas untuk memisahkan nira dan ampas yang terkandung di dalamnya. Selanjutnya, nira tebu akan dimurnikan menggunakan bantuan asam fosfat, susu kapur, dan gas SO₂. Proses pemurnian ini akan menghasilkan nira mentah tersulfitasi. Nira mentah tersulfitasi akan dibawa ke stasiun penguapan untuk dikurangi kadar airnya dan untuk meningkatkan konsentrasi nira mentah tersulfitasi menjadi jenuh sebelum dipanaskan (dimasak). Pada proses pemasakan, nira akan dikristalkan dan selanjutnya akan dipisahkan kristal yang terbentuk dengan *mother liquornya* pada proses putaran. Kristal yang telah dipisahkan selanjutnya dikeringkan dan diayak untuk memperoleh gula kristal putih sesuai standar.

Salah satu industri yang mengolah tebu menjadi gula kristal putih adalah PT. Pabrik Gula Candi Baru. Proses penguapan merupakan proses yang penting dalam pembuatan gula. Pada penguapan, digunakan alat evaporator. Evaporator merupakan alat yang digunakan untuk menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam nira. Sehingga terjadi peningkatan brix nira setelah keluar dari evaporator. Prinsip kerja dari evaporator yaitu menggunakan panas untuk menguapkan air dalam nira. Pada PT. Pabrik Gula Candi Baru digunakan evaporator dengan skema *quintuple* (5



evaporator dirangkai seri). Evaporator I menerima sumber panas dari uap bekas. Uap nira yang dihasilkan dari evaporator I digunakan sebagai sumber panas untuk menguapkan nira pada evaporator selanjutnya. Pada proses produksi gula, digunakan tekanan pada tiap evaporator yang dibuat menurun agar terjadi penurunan titik didih nira. Sehingga, dapat terjadi penguapan air yang terkandung dalam nira dengan menggunakan suhu yang rendah. Proses produksi gula yang membutuhkan panas adalah proses pemurnian nira, evaporasi, dan kristalisasi. Diantara ketiga proses tersebut, evaporasi membutuhkan konsumsi energi terbesar (Storia,2016). Berdasarkan pernyataan di atas diketahui bahwa evaporasi merupakan proses yang penting untuk dikaji. Sehingga, pada tugas khusus Praktik kerja lapangan ini, akan dikaji lebih dalam terkait neraca massa dan neraca panas evaporator yang terdapat di PG Candi Baru. Dalam penyelesaian tugas khusus ini, digunakan data – data yang ada di lapangan serta studi literatur untuk memahami konsep penguapan serta perhitungan neraca massa dan neraca panas pada evaporator.

IX.2 Tujuan

Tujuan dari tugas khusus ini adalah untuk menghitung neraca massa dan neraca panas evaporator yang digunakan untuk menguapkan air yang terkandung dalam nira dengan menggunakan data dari lapangan dan studi literatur untuk memperoleh persamaan dan data yang dibutuhkan dalam perhitungan.

IX.3 Manfaat

Manfaat dari perhitungan neraca massa dan neraca panas evaporator pada stasiun penguapan adalah agar dapat dihasilkan rancangan evaporator yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.



IX.4 Tinjauan Pustaka

IX.4.1 Evaporator

Evaporasi merupakan proses pengurangan kadar air yang terkandung dalam zat cair menggunakan panas. Hasil evaporasi dapat berupa padatan maupun larutan dengan konsentrasi tinggi. Alat yang digunakan dalam proses evaporasi adalah evaporator. Evaporator banyak digunakan dalam industri kimia dan industri makanan. Industri gula menggunakan evaporator vakum dalam prosesnya. Evaporator vakum merupakan evaporator yang menguapkan bahan secara langsung dengan menggunakan tekanan rendah. Sehingga, titik didih nira yang diuapkan dapat diturunkan agar tidak mengalami kerusakan (Syakdani, 2019). Tujuan digunakannya evaporator dalam industri gula adalah untuk mengentalkan nira sebelum dikristalkan. Alat ini bekerja dengan dua prinsip dasar yaitu pertukaran panas dan pemisahan uap air yang terkandung dalam cairan. Pertukaran panas pada evaporator terjadi antara steam yang masuk dengan nira yang diuapkan. Panas dari steam berpindah menuju nira. Akibatnya terjadi penguapan kandungan air dalam nira. Sehingga terjadi proses pemisahan uap air dengan nira yang menyebabkan peningkatan konsentrasi nira. Evaporator tersusun atas tempat penukar panas antara steam dan nira, bagian penguapan yaitu tempat liquid mendidih dan menguap, serta bagian pemisah untuk memisahkan uap dari cairan jenis – jenis evaporator (Hidayat, 2021).

IX.4.2 Prinsip Kerja Evaporator

Evaporator adalah alat industri untuk memekatkan larutan dengan jalan menguapkan pelarutnya. Jadi hasil utamanya adalah cairan dengan konsentrasi yang lebih pekat. Evaporator melibatkan peristiwa transfer massa, yaitu dengan adanya perpindahan massa dari fasa cair ke uap pada peristiwa penguapan pelarut, dan transfer panas, yaitu adanya energi panas yang diperlukan untuk menguapkan pelarut. Sumber panas yang biasa digunakan adalah uap air (steam) (Ariesmayana, 2018).



Pada proses evaporasi, cairan bersifat volatil yang akan diuapkan diberikan panas secara langsung atau tidak langsung sebagai sumber energi proses evaporasi. Akibat adanya energi panas, maka terjadi penguapan air yang terkandung dalam cairan. Uap yang terbentuk selanjutnya dipisahkan. Sumber panas evaporator juga dapat diberikan secara tidak langsung melalui media perantara. Pada industri gula, panas dialirkan di sisi pipa yang di dalamnya mengalir cairan yang akan diuapkan.

Dalam merancang proses evaporasi (pemekatan) untuk mencapai konsentrasi larutan tertentu, kondisi operasional memiliki dampak signifikan terhadap hasil yang diinginkan. Proses penguapan dalam sebuah evaporator dapat dihitung dengan mengetahui tekanan absolut yang ada di ruang penguapan. Suhu penguapan di sini adalah suhu uap jenuh yang sesuai dengan tekanan absolut dalam ruang tersebut. Selain itu, larutan yang mengalami pemekatan akan menunjukkan peningkatan titik didih, sehingga suhu titik didihnya lebih tinggi dibandingkan dengan air murni. Dengan demikian, transisi dari cairan menjadi uap panas terjadi pada suhu yang sama dengan titik didih cairan tersebut. Pada proses penguapan cairan yang sensitif terhadap suhu tinggi, maka dapat dilakukan penurunan titik didih cairan agar lebih rendah dari titik didih pada kondisi normal. Upaya yang dilakukan adalah dengan menurunkan tekanan operasi agar lebih rendah dari tekanan atmosfer (vakum). Selain kondisi operasi, penguapan yang optimum diperoleh dengan adanya perpindahan panas yang cukup, pemisahan uap dan cairan yang efisien, penggunaan energi yang efisien, serta perlakuan produk yang tepat (Ismiyati,2020)

IX.4.3 Jenis – Jenis Panas

Panas merupakan salah satu bentuk perubahan energi. Panas dapat diterima maupun dilepas. Zat yang menerima atau melepas panas dapat mengalami perubahan suhu atau perubahan bentuk. Jenis panas yang terjadi saat suatu zat mengalami perubahan suhu adalah panas sensibel. Sedangkan ketika suatu zat mengalami perubahan fase, maka jenis panas yang digunakan adalah panas laten.



1. Panas Sensibel (*Sensible Heat*)

Panas sensibel merupakan panas yang menyebabkan terjadinya perubahan suhu. Jika suatu zat melepaskan panas sensibel, maka akan terjadi penurunan suhu. Sedangkan jika suatu zat menerima panas sensibel, maka akan terjadi peningkatan suhu. Persamaan energi yang dilepas atau diterima pada panas sensibel adalah sebagai berikut

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

Keterangan :

Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

m = Massa zat yang mengalami perubahan temperatur (kg)

C_p = kalor jenis zat (J/kg/K)

ΔT = Perubahan temperatur yang terjadi (K)

2. Panas Laten (*Latent Heat*)

Jika sebuah benda mengambil atau melepaskan panas, awalnya suhunya akan berubah. Namun, ketika benda tersebut telah mencapai titik tertingginya, maka perubahan fase dapat terjadi. Jenis panas ini disebut sebagai kalor laten. Pada sebuah zat ada dua jenis kalor laten, yakni kalor peleburan atau pembekuan serta kalor penguapan atau pengembunan. Kalor latent biasanya lebih besar daripada kalor sensibel karena memerlukan energi yang signifikan untuk merubah fasa dari suatu benda. Persamaan yang digunakan dalam menghitung panas laten adalah sebagai berikut.

$$L = \gamma \cdot LB \cdot T / TB$$

Keterangan :

L = Panas penguapan pada temperatur absolut

γ = Faktor Abtainet

LB = Panas penguapan pada suhu normal titik didih absolut

T = Temperatur (K)

TB = Suhu titik didih (K)

(Faputri,2016)

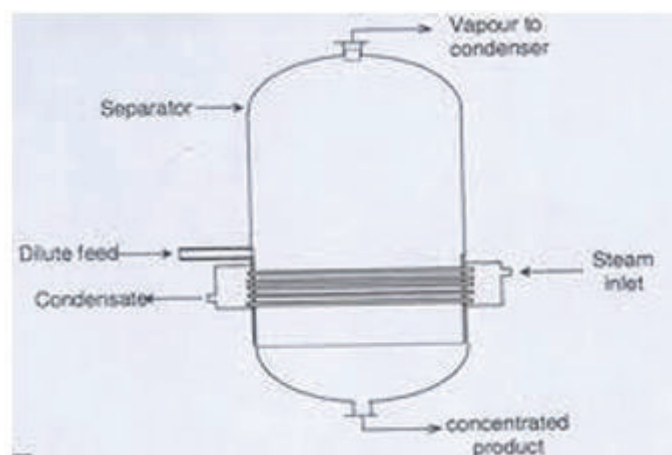
IX.4.4 Jenis – Jenis Evaporator

Terdapat beberapa jenis evaporator dalam industri, contohnya yaitu sebagai berikut :

1. *Horizontal- tube evaporator*

Spesifikasi alat :

- Merupakan jenis evaporator yang paling sederhana
- Posisi tube horizontal
- Pemanas steam dialirkan melalui tube, cairan di luar tube
- Tidak ada sirkulasi paksaan pada cairan sehingga harga koefisien tranfer panasnya rendah, teutama untuk cairan viskous
- Sesuai untuk larutan dengan viskositas rendah, tidak sesuai untuk larutan yang mudah menimbulkan buih dan kerak



Gambar IX. 1 Horizontal-tube evaporator

2. Vertical-tube evaporator

Ada 2 jenis vertical-tube evaporator, yaitu : basket evaporator dan standard vertical.

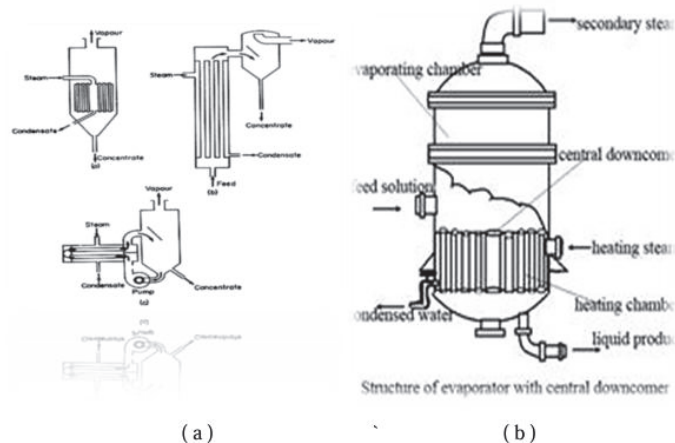
Secara umum spesifikasi alat vertical-tube evaporator adalah sebagai berikut:

- Posisi tube vertical

- Cairan dilewatkan tube dengan kecepatan 1-3 ft/s, steam di luar tube
- Sirkulasi cairan : naik lewat tube dengan bantuan pompa, cairan yang belum menguap kembali turun

- Sesuai untuk salting liquid atau larutan dengan viskositas sedang

- Jika steam chest merupakan chamber tertutup dengan liquid return space berbentuk annular disebut jenis basket evaporator
- Jika steam chest berbentuk annular dengan liquid return space berada di tengah (central downtake) disebut jenis standard vertical

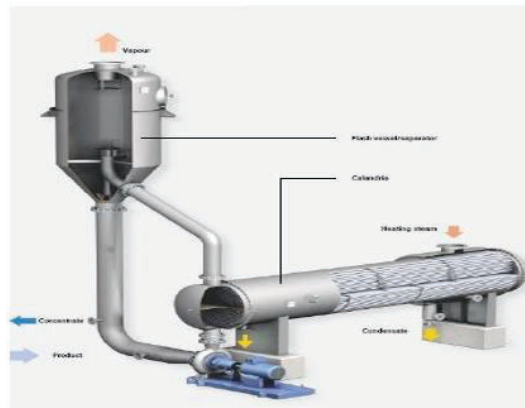


Gambar IX. 2 (a) Basket-type evaporator dan (b) Standard vertical evaporator

3. Forced-circulation evaporator

Spesifikasi alat :

- Posisi tube ada yang horizontal dan ada yang vertikal
- Cairan disirkulasi dengan bantuan pompa (biasanya pompa sentrifugal) melalui tube
- Sesuai untuk larutan viscous

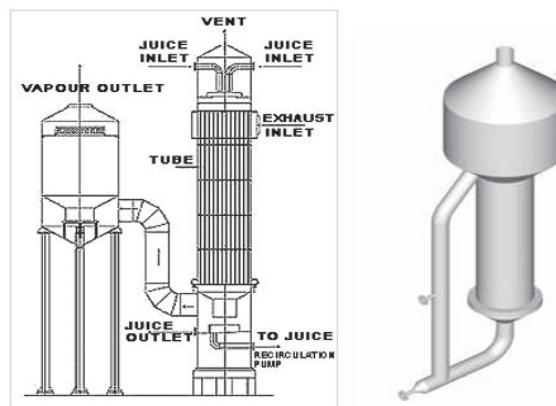


Gambar IX. 3 Forced-circulation evaporator dengan tube horizontal

4. Long tube vertical evaporator (LTV)

Spesifikasi alat :

- Nama lain kestner evaporator
- Posisi tube vertikal
- Panjang tube 12- 20 ft
- Cairan Dialirkan melalui tube
- Tidak baik untuk larutan yang mudah menimbulkan kerak (scaling or salting liquid) dan larutan viscous
- Sesuai untuk larutan yang mudah menimbulkan buih



Gambar IX. 4 Long tube vertical evaporator (LTV)

(Ariesmayana, 2018)



Berdasarkan metode pemanasannya, evaporator dibagi menjadi tiga sebagai berikut:

1. *Submerged Combustion Evaporator*

Evaporator ini menggunakan sumber panas berupa api yang menyala di bawah permukaan cairan. Gas panas bergelembung melewati cairan

2. *Direct Fired Evaporator*

Merupakan jenis evaporator yang menggunakan pengapian langsung, di mana api dan proses pembakaran gas terpisah dari cairan yang mendidih melalui dinding besi atau permukaan yang digunakan untuk pemanasan.

3. *Steam Heated Evaporator*

Merupakan jenis evaporator yang menggunakan uap sebagai sumber panas. Dalam proses ini, uap atau uap lain yang dapat dikondensasi mengalir di satu sisi permukaan pemanas, sementara panasnya ditransfer melalui dinding ke cairan yang mendidih.

Berdasarkan banyak prosesnya, evaporator memiliki jenis sebagai berikut :

1. *Single Effect Evaporator*

Merupakan evaporator yang terdiri dari satu badan penguapan dan panas diberikan oleh satu luas permukaan perpindahan panas. Cairan yang akan diuapkan hanya melalui satu evaporator.

2. *Multiple Effect Evaporator*

Merupakan evaporator dengan badan penguapan majemuk dalam sekali proses. Cairan akan diuapkan menggunakan dua, tiga, atau empat badan evaporator. Uap yang dihasilkan dari evaporator pertama akan digunakan sebagai sumber energi bagi evaporator berikutnya.

(Hidayat,2021)



IX.4.5 Faktor – faktor Evaporasi

Proses penguapan dipengaruhi oleh faktor – faktor sebagai berikut:

1. Kondisi operasi

Suhu penguapan yang optimal dapat dihitung dengan mengetahui tekanan absolut ruang penguapan. Suhu penguapan merupakan suhu uap jenuh pada tekanan absolut pada evaporator. Sehingga, seiring dengan meningkatnya kepekatan larutan, maka terjadi peningkatan titik didih yang menyebabkan meningkat pula suhu penguapan untuk memisahkan uap air dan cairan pekat.

2. Tekanan Atmosfer

Tekanan atmosfer juga mempengaruhi titik didih dan laju evaporasi. Pada tekanan yang lebih rendah (seperti dalam kondisi vakum), titik didih cairan menurun, sehingga mempercepat proses evaporasi.

3. Perpindahan panas yang baik, pemisahan uap – cairan yang efisien, penggunaan energi yang efisien, dan perlakuan produk yang tepat akan meningkatkan penguapan menjadi optimum.

(Ismiyati, 2020)

4. Laju Evaporasi

Laju evaporasi merupakan jumlah air yang berhasil diuapkan persatuan waktu tertentu. Laju evaporasi dipengaruhi oleh temperatur larutan dan luas permukaan sentuh evaporasi. Sehingga semakin banyak air yang berhasil diuapkan artinya semakin optimal proses penguapan yang terjadi.

5. Kemampuan pompa dan Kondisi ruang evaporator

Kemampuan pompa dan kondisi ruang evaporator dapat mempengaruhi tekanan vakum pada evaporator yang sangat berperan penting dalam penguapan menggunakan evaporator vakum. Tekanan rendah di bawah tekanan atmosfer akan menurunkan titik didih cairan yang dievaporasi. Sehingga air yang terkandung dapat menguap di bawah titik didih ketika kondisi tekanan atmosfer.

(Syakdani, 2019)



IX.4.6 Persamaan Dalam Perhitungan Evaporator

1. Total Air yang Diuapkan (E)

Dalam proses penguapan, terjadi pengurangan kadar air. Untuk mengetahui jumlah air yang diuapkan, dapat digunakan data brix. Konsentrasi bahan terlarut sering dinyatakan dalam satuan Brix (%) yang merupakan persentase dari bahan terlarut dalam sample (larutan air). Brix (%) merupakan jumlah gula (gram) yang terdapat dalam 100 gram larutan gula tebu. Persamaan untuk menghitung jumlah air yang diuapkan berdasarkan nilai brix diperoleh dari buku Hugot (1986) dengan persamaan sebagai berikut.

$$E = J - S = J \left(1 - \frac{B_j}{B_s}\right)$$

Keterangan

E = Total air yang diuapkan (Kg/jam)

J = Total Feed yang masuk (Kg/jam)

S = Total Liquid yang keluar (Kg/jam)

B_j = %brix nira encer

B_s = %brix nira pekat

2. Uap Nira Evaporator Bleeding

Bleeding (penyadapan) merupakan pemakaian uap nira yang dihasilkan evaporator sebagai sumber energi pada pan pemasakan dan pemanas (Juice heater) untuk menggantikan uap bekas. Untuk menghitung kebutuhan uap pemanas, maka digunakan persamaan menurut Soemohandojo (2009) sebagai berikut

$$G_{mp} = \frac{\dot{m} \times c_p \times \Delta T}{r}$$

Keterangan

G_{mp} = Kebutuhan Uap Pemanas (kg / jam)

$\dot{m}$ = Banyak nira yang masuk (kg/jam)

C_p = kapasitas panas nira (kcal /kg. K)



ΔT = Perbedaan temperatur (K)

r = Panas laten uap pemanas (kcal/kg)

3. Perhitungan % Brix

Brix menyatakan jumlah gula (gram) yang terdapat dalam 100 gram larutan gula tebu. Nilai % brix banyak digunakan dalam perhitungan neraca massa maupun neraca panas evaporator. Untuk menghitung % Brix, digunakan persamaan yang dikemukakan oleh Hugot (1986) dengan persamaan sebagai berikut.

$$\%B_0 = \%B_i \times \frac{m_{\text{encer}}}{m_{\text{encer}} - E}$$

Keterangan

$\%B_0$ = Brix nira keluar vessel

$\%B_i$ = Brix nira masuk vessel

m_{encer} = Banyak nira masuk vessel (kg/jam)

E = Banyak air yang diuapkan (kg/jam)

4. Perhitungan Panas Jenis Nira Masing – Masing Evaporator

Dalam perhitungan panas jenis nira pada masing – masing evaporator, digunakan persamaan yang pada literatur Hugot (1986) dengan persamaan sebagai berikut.

$$C_p = (1 - 0.0056 \times B)$$

Keterangan

C_p = Panas Jenis Nira (Kcal/kg. K)

B = Brix nira tiap evaporator (%)

5. Tekanan Uap Nira Tiap Evaporator

Tekanan uap nira pada masing – masing evaporator dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Soemohandojo (2009) dengan persamaan sebagai berikut

$$P = P_i - (D \times \Delta P)$$

Keterangan

P = Tekanan uap nira pada masing – masing evaporator (kg/cm²)



P_i = Tekanan uap yang masuk evaporator (kg/cm^2)

D = Distribusi

ΔP = Pressure Drop (kg/cm^2)

6. Menghitung Boiling Point Rise (BPR)

Boiling point rise (BPR) merupakan kenaikan titik didih larutan akibat peningkatan konsentrasi larutan. Nilai BPR akan berpengaruh terhadap suhu nira yang dikeluarkan masing – masing evaporator. Untuk menghitung kenaikan titik didih atau BPR, maka digunakan persamaan yang terdapat pada literatur Geankoplis (1993) dengan persamaan sebagai berikut.

$$BPR = 1.78x + 6.22x^2$$

Keterangan

x = brix nira yang dihasilkan evaporator (%)

7. Menghitung Suhu Nira

Suhu nira yang dihasilkan masing – masing evaporator akan mengalami perubahan jika dibandingkan saat memasuki evaporator. Untuk menghitung suhu nira yang keluar dari masing – masing evaporator, maka digunakan persamaan yang terdapat pada literatur Geankoplis (1993) dengan persamaan sebagai berikut .

$$T_i = T_{un} + BPR$$

Keterangan

T_i = Suhu Nira ($^{\circ}\text{C}$)

T_{un} = Suhu Uap Nira ($^{\circ}\text{C}$)

BPR = Boiling Point Rise ($^{\circ}\text{C}$)



IX.5 Hasil Perhitungan

IX.5.1 Neraca Massa Evaporator

Terdapat beberapa data yang diperlukan, sebagai berikut:

Tabel IX. 1 Data Analisa

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1.	Kapasitas Giling	27295	kuintal/hari	113,729	ton/jam
2.	Massa Nira Mentah	30348	kuintal/hari	126,45	ton/jam
3.	Massa Nira Encer	26675	kuintal/hari	111,146	ton/jam
4.	Massa Nira Kental	5297	kuintal/hari	22,0708	ton/jam
5	Brix Nira Encer	12,19	%		
6	Brix Nira Kental	61,39	%		
7	Brix Masakan A	93,68	%		
8	Brix Masakan C	97,05	%		
9	Brix Masakan D	99,72	%		
10	Suhu masuk JH I Unit 1	39	C	312	K
11	Suhu keluar JH I Unit 1	55	C	328	K
12	Suhu masuk JH I Unit 2	55	C	328	K
13	Suhu keluar JH I Unit 2	75	C	348	K
14	Suhu masuk JH II Unit 1	70	C	343	K
15	Suhu keluar JH II Unit 1	90	C	363	K
16	Suhu masuk JH II Unit 2	90	C	363	K
17	Suhu keluar JH II unit 2	104	C	377	K
18	Densitas Nira Mentah	1,05	ton/m ³		
19	Brix NM tersulfir	13,2	%		
20	Brix NM tertimbang	13,2	%		
21	Tekanan Uap Bekas	0,75	kg/cm ²		

Untuk menentukan nilai air yang diuapkan tiap evaporator dapat dihitung menggunakan rumus persamaan jumlah air yang akan diuapkan (E).

$$\begin{aligned} \text{vessel 5} &= x \\ \text{vessel 4} &= x \\ \text{vessel 3} &= x \\ \text{vessel 2} &= x \end{aligned}$$



$$\begin{array}{lcl} \text{vessel 1} & = & x + P1 + P2 + P3 \\ \hline E & = & 5x + P1 + P2 + P3 \end{array}$$

A. Menghitung Jumlah Air yang Menguap Pada Proses Penguapan

Dalam menentukan jumlah air yang menguap pada stasiun penguapan, maka digunakan rumus yang dikemukakan oleh Hugot (1960) Persamaan 32.9 Halaman 504.

$$E = J - S = J(1 - \frac{B_j}{B_s})$$

Keterangan:

E = Jumlah air yang menguap

J (Juice) = Massa nira encer

S (Syrup) = Massa nira kental

B_j = Brix nira encer

B_s = Brix nira kental

1. Maka, jumlah air yang diuapkan dari nira encer adalah

$$\begin{aligned} E &= J(1 - \frac{B_j}{B_s}) \\ &= 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times (1 - \frac{0,1219}{0,6139}) \\ &= 89,0759 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

2. Massa Nira Kental = massa nira encer – air yang menguap

$$\begin{aligned} &= 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 89,0759 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 22,07 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

B. Menentukan Jumlah Uap Bleeding

Uap nira dari vessel (badan pemanas) I akan di bleed ke stasiun masakan (pan pemasakan), ke pemanas pendahuluan (PP) II dan (PP) I.

$$\% \text{ Brix masuk} = 61,39$$



% Brix masakan A = 93,68

% Brix masakan C = 97,05

Suhu Bahan Masakan = 65 °C

a. Menghitung Kebutuhan Uap Stasiun Masakan (Pan Pemasakan) (P3)

$$E = J \left(1 - \frac{B_j}{B_s} \right)$$

1. Uap Bleeding Masakan A

$$\begin{aligned} E &= J \left(1 - \frac{B_j}{B_s} \right) \\ &= 22,07 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{0,6139}{0,9368} \right) \\ &= 7,6071 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

2. Uap Bleeding Masakan C

$$\begin{aligned} E &= J \left(1 - \frac{B_j}{B_s} \right) \\ &= 22,07 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{0,6139}{0,9705} \right) \\ &= 8,1093 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

Kebutuhan pemanas stasiun pemasakan yang di supply dari bleeding uap nira evaporator I (P3) = $15,72 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$

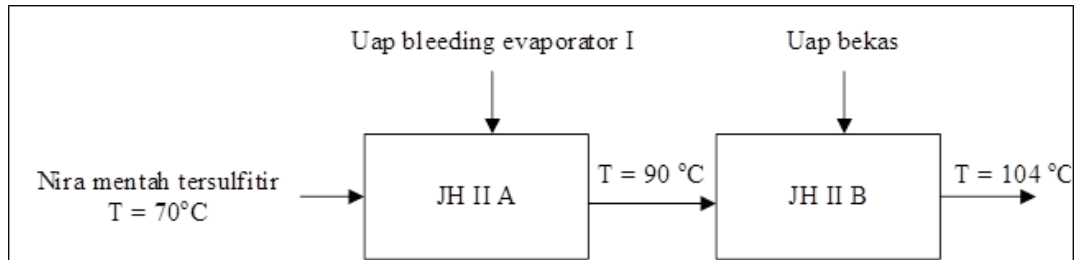
b. Menghitung Kebutuhan Uap PP II (P2)

Nira yang masuk ke PP II adalah nira mentah tersulfitor

$$\text{Massa Nira Tersulfitor} = 134,2004 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

% Brix Nira Mentah Tersulfitor = 13,2

Pada JH II, digunakan 2 unit. Unit 1 (JH II A) mendapatkan sumber panas dari bleeding uap nira. Sedangkan unit 2 (JH II B) menggunakan sumber panas dari uap bekas.



Untuk mencari kebutuhan uap pemanas, digunakan persamaan oleh Soemohandojo (2009)

$$Gmp = \frac{\dot{m} \times Cp \times \Delta T}{r}$$

Keterangan

Gmp = Kebutuhan uap pemanas $\frac{ton}{jam}$

m = Banyak nira yang masuk ke Juice Heater $\frac{ton}{jam}$

cp = Kapasitas Panas $\frac{Kcal}{Kg.K}$

ΔT = Perbedaan suhu masuk dan keluar Juice Heater

r = Panas Laten uap pemanas $\frac{Kcal}{Kg}$

Menghitung cp

Rumus yang digunakan untuk menghitung cp adalah rumus dari Hugot Halaman 449

$$Cp = (1 - 0,0056B)$$

cp = Kapasitas Panas (Kcal/kg.k)

B = Brix Nira mentah tersulfisir (%)

maka

$$\begin{aligned} Cp &= (1 - 0,0056B) \\ &= (1 - 0,0056 \times 13,2) \\ &= 0,92608 \frac{kcal}{kg.K} \end{aligned}$$



Sehingga kebutuhan uap pemanas PP II (unit 1) dari bleeding uap nira evaporator I (P2)

$$\begin{aligned} G_{mp} &= \frac{\dot{m} \times C_p \times \Delta T}{r} \\ &= \frac{134,2004 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times 0,92608 \frac{\text{kcal}}{\text{kg.K}} \times (363-343)}{534,2606} \\ &= 4,6524 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

c. Menghitung Kebutuhan Uap PP I (P1)

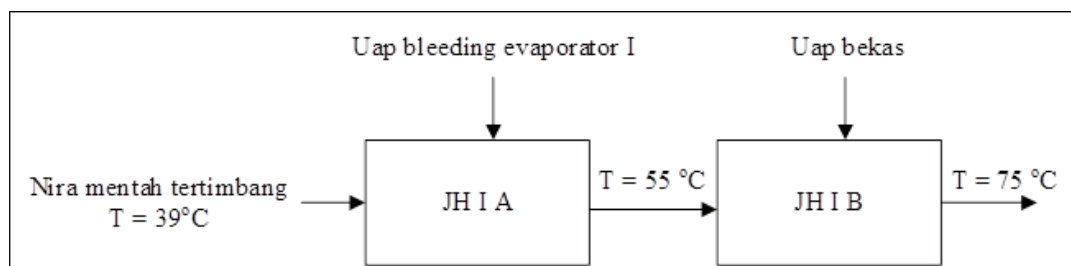
Nira yang masuk ke PP I adalah nira mentah + filtrat nira tapis hasil RVF

$$\text{Massa Nira Mentah} = 113,7292 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$\text{Massa Nira Filtrat} = 15,9221 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$\% \text{ Brix Nira Mentah} = 13,2$$

Pada JH I, digunakan 2 unit. Unit 1 (JH I A) mendapatkan sumber panas dari bleeding uap nira. Sedangkan unit 2 (JH I B) menggunakan sumber panas dari uap bekas.



Untuk mencari kebutuhan uap pemanas, digunakan persamaan oleh Soemohandojo (2009)

$$G_{mp} = \frac{\dot{m} \times C_p \times \Delta T}{r}$$

Keterangan

$$G_{mp} = \text{Kebutuhan uap pemanas} \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$\dot{m} = \text{Banyak nira yang masuk ke Juice Heater} \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$



$$cp = \text{Kapasitas Panas } \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg.K}}$$

$$\Delta T = \text{Perbedaan suhu masuk dan keluar Juice Heater}$$

$$r = \text{Panas Laten uap pemanas } \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Menghitung cp

Rumus yang digunakan untuk menghitung cp adalah rumus dari Hugot Halaman 492

$$Cp = (1 - 0,0056B)$$

$$cp = \text{Kapasitas Panas (Kcal/kg.k)}$$

$$B = \text{Brix Nira kental tersulfir (%)}$$

maka

$$\begin{aligned} Cp &= (1 - 0,0056B) \\ &= (1 - 0,0056 \times 13,2) \\ &= 0,92608 \frac{\text{kcal}}{\text{kg.K}} \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan uap pemanas PP I (unit 1) dari bleeding uap nira evaporator I (P1)

$$\begin{aligned} Gmp &= \frac{\dot{m} \times Cp \times \Delta T}{r} \\ &= \frac{129,6513 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times 0,92608 \frac{\text{kcal}}{\text{kg.K}} \times (328 - 312)}{534,2606} \\ &= 3,5957 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

Air yang diuapkan tiap badan:

$$E = 5x + P1 + P2 + P3$$

$$89,0759 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} = 5x + 3,5957 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} + 4,6524 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} + 15,72 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$x = 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

Sehingga, air yang diuapkan tiap badan:

$$\text{Evaporator 5} = 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$



$$\text{Evaporator 4} = 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$\text{Evaporator 3} = 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$\text{Evaporator 2} = 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$\begin{aligned}\text{Evaporator 1} &= 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} + 3,5957 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} + 4,6524 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} + 15,72 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 36,99 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}\end{aligned}$$

C. Menentukan % Brix Tiap Evaporator

Dalam menentukan %brix tiap BP, digunakan rumus berikut: (Hug.601)

$$\%B_0 = \%B_i \times \frac{m \text{ encer}}{m \text{ encer} - E}$$

Keterangan:

B_i = Brix masuk vessel

B_0 = Brix keluar vessel

$m \text{ encer}$ = Banyaknya nira encer yang masuk BP $\frac{\text{ton}}{\text{jam}}$

E = Banyaknya air yang diuapkan $\frac{\text{ton}}{\text{jam}}$

1. Badan Pemanas I

$$\begin{aligned}\%B_0 &= \%B_i \times \frac{m \text{ encer}}{m \text{ encer} - E} \\ &= 12,19 \times \frac{111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}}{111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 36,9869 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}} \\ &= 18,270 \%\end{aligned}$$

2. Badan Pemanas II

$$\begin{aligned}\%B_0 &= \%B_i \times \frac{m \text{ encer}}{m \text{ encer} - E} \\ &= 18,270 \times \frac{74,1589 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}}{74,1589 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}} \\ &= 22,161\%\end{aligned}$$



3. Badan Pemanas III

$$\begin{aligned}\%B_0 &= \%B_i \times \frac{m_{\text{encer}}}{m_{\text{encer}} - E} \\ &= 22,161\% \times \frac{61,1366 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}}{61,1366 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}} \\ &= 28,1593\%\end{aligned}$$

4. Badan Pemanas IV

$$\begin{aligned}\%B_0 &= \%B_i \times \frac{m_{\text{encer}}}{m_{\text{encer}} - E} \\ &= 28,1593\% \times \frac{48,1143 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}}{48,1143 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}} \\ &= 38,6089\%\end{aligned}$$

5. Badan Pemanas V

$$\begin{aligned}\%B_0 &= \%B_i \times \frac{m_{\text{encer}}}{m_{\text{encer}} - E} \\ &= 38,6089\% \times \frac{35,0921 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}}{35,0921 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}} \\ &= 61,39\%\end{aligned}$$

D. Menentukan Neraca Massa Evaporator

1. Badan Penguapan I

a) Massa Masuk

1) Nira Encer

$$\text{Brix} = 12,19\%$$

$$\text{Massa Brix} = 12,19\% \times \text{Massa nira encer}$$

$$= 12,19\% \times 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$\text{Massa Air} = 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$

$$= 97,5972 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}$$



b) Massa Keluar

$$\begin{aligned} 1) \text{ Uap Air} &= \dot{m}_{\text{encer}} \times \left(1 - \frac{\% \text{brix nira encer}}{\% \text{brix nira kental BP1}}\right) \\ &= 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{12,19\%}{18,270\%}\right) \\ &= 36,9869 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

2) Nira Kental BP I

$$\begin{aligned} \text{Massa NK BP I} &= \text{massa nira encer} - \text{uap air} \\ &= 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 36,9869 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 74,1589 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\text{Brix BP I} = 18,270\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= \% \text{BP I} \times \text{Massa NK BP I} \\ &= 18,270\% \times 74,1589 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 74,1589 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 60,6102 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

2. Badan Penguapan II

a) Massa Masuk

1) Nira BP I

$$\text{Brix} = 18,270\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= 18,270\% \times \text{Massa nira encer} \\ &= 18,270\% \times 74,1589 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 74,1589 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 60,6102 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$



b) Massa Keluar

$$\begin{aligned} 1) \text{ Uap Air} &= \dot{m}_{BP1} \times \left(1 - \frac{\%brix \text{ nira Kental BP 1}}{\%brix \text{ nira kental BP2}}\right) \\ &= 74,1589 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{18,270\%}{22,161\%}\right) \\ &= 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

2) Nira Kental BP II

$$\begin{aligned} \text{Massa NK BP II} &= \text{massa NK BP I} - \text{uap air} \\ &= 74,1589 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 61,1366 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\text{Brix BP II} = 22,161\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= \%BP \text{ II} \times \text{Massa NK BP II} \\ &= 22,161\% \times 61,1366 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 61,1366 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 47,5880 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

3. Badan Penguapan III

a) Massa Masuk

1) Nira BP II

$$\text{Brix} = 22,161\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= 22,161\% \times \text{Massa nira BP II} \\ &= 26,44 \% \times 61,1366 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 61,1366 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 47,5880 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$



b) Massa Keluar

$$\begin{aligned} 1) \text{ Uap Air} &= \dot{m}_{BP2} \times \left(1 - \frac{\%brix \text{ nira Kental BP 2}}{\%brix \text{ nira kental BP3}}\right) \\ &= 61,1366 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{22,161 \%}{28,1593 \%}\right) \\ &= 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

2) Nira Kental BP III

$$\begin{aligned} \text{Massa NK BP III} &= \text{massa BP II} - \text{uap air} \\ &= 61,1366 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 48,1143 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\text{Brix BP III} = 28,1593\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= \%BP \text{ III} \times \text{Massa NK BP III} \\ &= 28,1593\% \times 48,1143 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 48,1143 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 34,5657 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

4. Badan Penguapan IV

a) Massa Masuk

1) Nira BP III

$$\text{Brix} = 28,1593\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= 28,1593\% \times \text{Massa NK BP III} \\ &= 28,1593\% \times 48,1143 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 48,1143 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 34,5657 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$



b) Massa Keluar

$$\begin{aligned} 1) \text{ Uap Air} &= \dot{m}_{BP3} \times \left(1 - \frac{\%brix \text{ nira Kental BP 3}}{\%brix \text{ nira kental BP4}}\right) \\ &= 48,1143 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{28,1593\%}{38,6089\%}\right) \\ &= 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

2) Nira Kental BP IV

$$\begin{aligned} \text{Massa NK BP IV} &= \text{massa NK BP III} - \text{uap air} \\ &= 48,1143 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 35,0921 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\text{Brix BP IV} = 38,6089\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= \%BP \text{ IV} \times \text{Massa NK BP IV} \\ &= 38,6089\% \times 35,0921 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 35,0921 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 21,5434 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

5. Badan Penguapan V

a) Massa Masuk

1) NK BP IV

$$\text{Brix} = 38,6089\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= 38,6089\% \times \text{Massa NK BP IV} \\ &= 38,6089\% \times 35,0921 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 35,0921 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 21,5434 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$



b) Massa Keluar

$$\begin{aligned} 1) \text{ Uap Air} &= \dot{m}_{BP4} \times \left(1 - \frac{\%brix \text{ nira Kental BP 4}}{\%brix \text{ nira kental BP5}}\right) \\ &= 35,0921 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{38,6089\%}{61,39\%}\right) \\ &= 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

2) Nira Kental BP V

$$\begin{aligned} \text{Massa NK BP V} &= \text{massa NK BP IV} - \text{uap air} \\ &= 35,0921 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,0222 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 22,0698 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\text{Brix BP V} = 61,39\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= \%BP V \times \text{Massa NK BP V} \\ &= 61,39\% \times 22,0698 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 22,0698 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 8,5212 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

6. Neraca Massa Overall

a) Massa Masuk

1) Nira Encer

$$\text{Brix} = 12,19 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= 12,19\% \times \text{Massa nira encer} \\ &= 12,19\% \times 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 97,5972 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$



c) Massa Keluar

$$\begin{aligned} 1) \text{ Uap Air} &= \dot{m}_{\text{nira encer}} \times \left(1 - \frac{\% \text{brix nira encer}}{\% \text{brix nira kental BP5}}\right) \\ &= 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{12,19\%}{61,39\%}\right) \\ &= 89,0760 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

2) Nira Kental BP V

$$\begin{aligned} \text{Massa NK BP V} &= \text{massa NK BP V} - \text{uap air} \\ &= 111,1458 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 89,0760 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 22,0698 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\text{Brix BP V} = 61,39\%$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Brix} &= \% \text{BP V} \times \text{Massa NK BP V} \\ &= 61,39\% \times 22,0698 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Air} &= 22,0698 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} - 13,5487 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \\ &= 8,5212 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \end{aligned}$$



Tabel IX. 2 Neraca Massa Evaporator I

Massa Masuk	Jumlah (ton/jam)	Massa Keluar	Jumlah (ton/jam)
Nira Encer	13,5487	Nira Pekat I	13,5487
Air	97,5972	Air	60,6102
		Uap Nira	36,9869
Total	111,1458	Total	111,1458

Tabel IX. 3 Neraca Massa Evaporator II

Massa Masuk	Jumlah (ton/jam)	Massa Keluar	Jumlah (ton/jam)
Nira Pekat I	13,5487	Nira Pekat II	13,5487
Air	60,6102	Air	47,5880
		Uap Nira	13,0223
Total	74,1589	Total	74,1589

Tabel IX. 4 Neraca Massa Evaporator III

Massa Masuk	Jumlah (ton/jam)	Massa Keluar	Jumlah (ton/jam)
Nira Pekat II	13,5487	Nira Pekat III	13,5487
Air	47,5880	Air	34,5657
		Uap Nira	13,0223
Total	61,1366	Total	61,1366

Tabel IX. 5 Neraca Massa Evaporator IV

Massa Masuk	Jumlah (ton/jam)	Massa Keluar	Jumlah (ton/jam)
Nira Pekat III	13,5487	Nira Pekat IV	13,5487
Air	34,5657	Air	21,5434
		Uap Nira	13,0223
Total	48,1144	Total	48,1144

Tabel IX. 6 Neraca Massa Evaporator V

Massa Masuk	Jumlah (ton/jam)	Massa Keluar	Jumlah (ton/jam)
Nira Pekat IV	13,5487	Nira Pekat V	13,5487
Air	21,5434	Air	8,5212
		Uap Nira	13,0223
Total	35,0921	Total	35,0921



Tabel IX. 7 Neraca Massa Evaporator Overall

Massa Masuk	Jumlah (ton/jam)	Massa Keluar	Jumlah (ton/jam)
Nira Encer	13,5487	Nira Pekat	13,5487
Air	97,5972	Air	8,5212
		Uap Nira	89,0760
Total	111,1458	Total	111,1458



IX.5.2 Neraca Panas Evaporator

Menghitung Suhu Uap Bekas

Tekanan uap bekas yang masuk	=	0,75 kg/ cm ²
Tekanan absolut uap bekas yang masuk	=	1,75 kg/ cm ² abs
	=	171,616 kPa
	=	128,726 cmHg abs
Tekanan Vakum Evaporator terakhir	=	61 cmHg
Tekanan Vakum Evaporator terakhir absolut	=	15 cmHg abs
Pressure Drop	=	113,73 cmHg abs

Sehingga, berdasarkan *steam tables* appendix E tabel E.1 Smith (2017), pada P = 171,616 kPa, diperoleh suhu uap bekas yang masuk ke evaporator sebesar 115,45°C.

Distribusi tekanan

Diketahui

T uap bekas = 115,45°C ; P uap bekas = 1,75 kg/cm² abs

Menurut Soemohandojo (2009), perbandingan antara rasio tekanan relatif (ΔP) dengan penurunan suhu (ΔT) pada evaporator dengan sistem quintuple (5) dengan sistem bleeding adalah sebagai berikut

Tabel IX. 8 Distribusi Tekanan Pada Quintuple Effect Evaporator

	Distribusi tekanan
Evaporator I	11,8/50
Evaporator II	10,68/50
Evaporator III	9,32/50
Evaporator IV	8,65/50
Evaporator V	9,55/50

Perhitungan Suhu dan Tekanan Uap Nira Pada Masing – Masing Evaporator



$$P = P_i - (D \times \Delta P)$$

Keterangan

P = Tekanan uap nira pada masing – masing evaporator (kg/cm²)

P_i = Tekanan uap yang masuk evaporator (kg/cm²)

D = Distribusi

ΔP = Pressure Drop (kg/cm²)

1. Evaporator I

$$P_1 = P_{uap\ bekas} - (D_1 \times \Delta P)$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 128,726 \text{ cmHg abs} - \left(\frac{11,8}{50} \times 113,73 \text{ cmHg abs}\right) \\ &= 101,887 \text{ cmHg abs} \\ &= 1,386 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs} \\ &= 135,887 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan *steam tables* appendix E tabel E.1 Smith (2017), pada P = 135,87 kPa, diperoleh suhu uap nira pada evaporator I sebesar 108,4°C.

2. Evaporator II

$$P_2 = P_1 - (D_2 \times \Delta P)$$

$$\begin{aligned} P_2 &= 101,887 \text{ cmHg abs} - \left(\frac{10,68}{50} \times 113,73 \text{ cmHg abs}\right) \\ &= 77,595 \text{ cmHg abs} \\ &= 1,055 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs} \\ &= 103,489 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan *steam tables* appendix E tabel E.1 Smith (2017), pada P = 103,489 kPa, diperoleh suhu uap nira pada evaporator II sebesar 100,6°C.

3. Evaporator III

$$P_3 = P_2 - (D_3 \times \Delta P)$$

$$\begin{aligned} P_3 &= 77,595 \text{ cmHg abs} - \left(\frac{9,32}{50} \times 113,73 \text{ cmHg abs}\right) \\ &= 56,396 \text{ cmHg abs} \\ &= 0,767 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs} \end{aligned}$$



$$= 75,216 \text{ kPa}$$

Berdasarkan *steam tables* appendix E tabel E.1 Smith (2017), pada $P = 75,216 \text{ kPa}$, diperoleh suhu uap nira pada evaporator III sebesar $91,86^\circ\text{C}$.

4. Evaporator IV

$$P4 = P3 - (D4 \times \Delta P)$$

$$\begin{aligned} P4 &= 56,396 \text{ cmHg abs} - \left(\frac{8,65}{50} \times 113,73 \text{ cmHg abs}\right) \\ &= 36,722 \text{ cmHg abs} \\ &= 0,499 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs} \\ &= 48,976 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan *steam tables* appendix E tabel E.1 Smith (2017), pada $P = 48,976 \text{ kPa}$, diperoleh suhu uap nira pada evaporator IV sebesar $80,83^\circ\text{C}$.

5. Evaporator V

$$P5 = P4 - (D5 \times \Delta P)$$

$$\begin{aligned} P5 &= 36,722 \text{ cmHg abs} - \left(\frac{9,5}{50} \times 113,73 \text{ cmHg abs}\right) \\ &= 15 \text{ cmHg abs} \\ &= 0,204 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs} \\ &= 20,006 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan *steam tables* appendix E tabel E.1 Smith (2017), pada $P = 20,006 \text{ kPa}$, diperoleh suhu uap nira pada evaporator V sebesar $60,1^\circ\text{C}$.

Perhitungan Panas Jenis Nira Masing – Masing Evaporator

$$Cp = (1 - 0,0056 \times B)$$

Keterangan

Cp = Panas Jenis Nira (Kcal/kg. K)

B = Brix nira tiap evaporator (%)

Berdasarkan Perhitungan Neraca Massa, diketahui nilai % Brix nira yang dihasilkan masing – masing evaporator adalah sebagai berikut



Tabel IX. 9 Data Brix Nira Tiap Evaporator

Nira	Brix
Nira Encer	12,19
Nira Evaporator I	18,27
Nira Evaporator II	22,161
Nira Evaporator III	28,159
Nira Evaporator IV	38,609
Nira Evaporator V	61,39

1. Nira Encer

$$\begin{aligned}Cp_{Ne} &= (1 - 0,0056 \times BNE) \\&= (1 - 0,0056 \times 12,19) \\&= 0,932 \text{ Kcal/Kg. K}\end{aligned}$$

2. Nira Evaporator I

$$\begin{aligned}Cp_1 &= (1 - 0,0056 \times B1) \\&= (1 - 0,0056 \times 18,268) \\&= 0,898 \text{ Kcal/Kg. K}\end{aligned}$$

3. Nira Evaporator II

$$\begin{aligned}Cp_2 &= (1 - 0,0056 \times B2) \\&= (1 - 0,0056 \times 22,161) \\&= 0,876 \text{ Kcal/Kg. K}\end{aligned}$$

4. Nira Evaporator III

$$\begin{aligned}Cp_3 &= (1 - 0,0056 \times B3) \\&= (1 - 0,0056 \times 28,159) \\&= 0,842 \text{ Kcal/Kg. K}\end{aligned}$$

5. Nira Evaporator IV

$$\begin{aligned}Cp_4 &= (1 - 0,0056 \times B4) \\&= (1 - 0,0056 \times 38,609) \\&= 0,784 \text{ Kcal/Kg. K}\end{aligned}$$

6. Nira Evaporator V



$$\begin{aligned}Cp\ 5 &= (1 - 0,0056 \times B5) \\&= (1 - 0,0056 \times 61,39) \\&= 0,656 \text{ Kcal/Kg. K}\end{aligned}$$

Tabel IX. 10 Hasil perhitungan Cp

Nira	Brix	Cp (Kcal/Kg.K)
Nira Encer	12,19	0,932
Nira Evap I	18,270	0,898
Nira Evap II	22,161	0,876
Nira Evap III	28,159	0,842
Nira Evap IV	38,609	0,784
Nira Evap V	61,390	0,656

Menghitung Boiling Point Rise (BPR) Pada Masing – Masing Evaporator

$$BPR = 1,78x + 6,22x^2$$

Keterangan

x = brix nira yang dihasilkan evaporator (%)

1. Evaporator I

$$\begin{aligned}BPR1 &= 1,78x1 + 6,22x1^2 \\&= (1,78 \times (18,270\%)) + (6,22 \times (18,270\%)^2) \\&= 0,533\ ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

2. Evaporator II

$$\begin{aligned}BPR2 &= 1,78x2 + 6,22x2^2 \\&= (1,78 \times (22,161\%)) + (6,22 \times (22,161\%)^2) \\&= 0,7^\circ\text{C}\end{aligned}$$

3. Evaporator III

$$\begin{aligned}BPR3 &= 1,78x3 + 6,22x3^2 \\&= (1,78 \times (28,159\%)) + (6,22 \times (28,159\%)^2) \\&= 0,994^\circ\text{C}\end{aligned}$$

4. Evaporator IV

$$BPR4 = 1,78x4 + 6,22x4^2$$



$$\begin{aligned} &= (1,78 \times (38,609\%)) + (6,22 \times (38,609\%)^2) \\ &= 1,614^\circ\text{C} \end{aligned}$$

5. Evaporator V

$$\begin{aligned} BPR5 &= 1,78x5 + 6,22x5^2 \\ &= (1,78 \times (61,39\%)) + (6,22 \times (61,39\%)^2) \\ &= 3,437^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Menghitung Suhu Nira Masing – Masing Evaporator

$$Ti = Tun + BPR$$

Keterangan

Ti = Suhu Nira ($^\circ\text{C}$)

Tun = Suhu Uap Nira ($^\circ\text{C}$)

BPR = Boiling Point Rise ($^\circ\text{C}$)

1. Evaporator I

$$\begin{aligned} T1 &= Tun\ 1 + BPR\ 1 \\ &= 108,4 + 0,533 \\ &= 108,933^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2. Evaporator II

$$\begin{aligned} T2 &= Tun\ 2 + BPR\ 2 \\ &= 100,6 + 0,7 \\ &= 101,3^\circ\text{C} \end{aligned}$$

3. Evaporator III

$$\begin{aligned} T3 &= Tun\ 3 + BPR\ 3 \\ &= 91,86 + 0,994 \\ &= 92,854^\circ\text{C} \end{aligned}$$

4. Evaporator IV

$$\begin{aligned} T4 &= Tun\ 4 + BPR\ 4 \\ &= 80,83 + 1,614 \end{aligned}$$



$$= 82,444^{\circ}\text{C}$$

5. Evaporator V

$$T_5 = T_{un\ 5} + BPR\ 5$$

$$= 60,1 + 3,437$$

$$= 63,537^{\circ}\text{C}$$

Tabel IX. 11 Hasil Perhitungan Suhu Nira dan Uap Nira

Komponen	Fraksi Nira	BPR ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Uap Nira (T_{un}) ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Nira (T_i) ($^{\circ}\text{C}$)
Evaporator I	18,270	0,533	108,4	108,933
Evaporator II	22,161	0,700	100,6	101,300
Evaporator III	28,159	0,994	91,86	92,854
Evaporator IV	38,609	1,614	80,83	82,444
Evaporator V	61,390	3,437	60,1	63,537

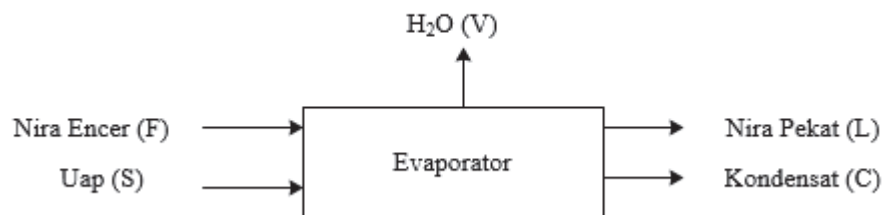
Berdasarkan hasil perhitungan, dapat dicari nilai λ dan q pada tabel 41.1 A Hugot (1986). Berikut ini merupakan data yang diperoleh dari tabel 41.1 A dan akan digunakan dalam perhitungan neraca panas evaporator.

Tabel IX. 12 Data Panas Laten dan Panas Sensibel

Komponen	P Uap (kg/cm^2)	T_{un} ($^{\circ}\text{C}$)	T_i ($^{\circ}\text{C}$)	λ_{un} (kcal/kg)	λ_N (kcal/kg)	q_{un} (kcal/kg)	q_N (kcal/kg)
Uap Bekas	1,75	115,45		644,435		115,65	
Nira Pekat I	1,386	108,4	108,933	641,86	642,07	108,5	109,03
Nira Pekat II	1,055	100,6	101,300	639,14	639,39	100,6	101,3
Nira Pekat III	0,767	91,86	92,854	635,84	636,24	91,86	92,85
Nira Pekat IV	0,499	80,83	82,444	631,63	632,26	80,83	82,4
Nira Pekat V	0,204	60,1	63,537	623,24	624,616	60	63,44



Perhitungan Neraca Panas Evaporator



Neraca Panas Overall

$$F \times hf + S \times Hs = L \times hl + V \times Hf + C \times hc$$

Neraca Panas Tiap Evaporator

Panas Masuk

$$Uap = m_{v1} \times \lambda_1$$

$$Nira = m_{N1} \times Cp_1 \times T_1$$

Panas Keluar

$$Kondensat = m_{v2} \times q_2$$

$$\text{Air yang diuapkan} = m_{v2} \times \lambda_2$$

$$Nira = m_{N2} \times Cp_1 \times T_2$$

Keterangan

Notasi 1 = Keadaan masuk

Notasi 2 = Keadaan keluar

m_v = Rate massa uap (kg/jam)

m_N = Rate massa Nira (kg/jam)

λ = Panas laten (kcal/kg)

q = Panas sensibel (kcal/kg)

C_p = Kalor Jenis (Kcal/Kg.°C)

T = Suhu (°C)

1. Neraca Panas Evaporator I



Panas Masuk

$$1. U_{ap} = m_{v1} \times \lambda_1$$

$$= m_v \times 644,435 \text{ kcal/kg}$$

$$= 644,435 m_v$$

$$2. N_{ira} = m_{N1} \times C_{p1} \times T_1$$

$$= 111145,833 \text{ kg/jam} \times 0,932 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times 104 ^\circ\text{C}$$

$$= 10770091,71 \text{ kcal/jam}$$

$$\text{Total} = 10770091,71 \text{ kcal/jam} + 644,435 m_v \text{ kcal/kg}$$

Panas Keluar

$$1. K_{ondensat} = m_{v2} \times q_2$$

$$= m_v \times 108,5 \text{ kcal/kg}$$

$$= 108,5 m_v$$

$$2. A_{ir} \text{ yang diuapkan} = m_{v2} \times \lambda_2$$

$$= 36986,917 \text{ kg/jam} \times 642,07 \text{ kcal/kg}$$

$$= 23748189,72 \text{ kcal/jam}$$

$$3. N_{ira} = m_{N2} \times C_{p1} \times T_2$$

$$= 74158,916 \text{ kg/jam} \times 0,898 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times 108,933 ^\circ\text{C}$$

$$= 7251838,134 \text{ kcal/jam}$$

$$4. Q_{loss} = 5\% \text{ Panas masuk}$$

$$= 5\% \times (10770091,71 \text{ kcal/jam} + 644,435 m_v)$$

$$\text{Total} = 108,5 m_v + 23748189,72 \text{ kcal/jam} + 7251838,134$$

$$\text{kcal/jam} + (5\% \times (10770091,71 \text{ kcal/jam} + 644,435 m_v \text{ kcal/kg}))$$

$$= 140,722 m_v + 31538532,44 \text{ kcal/jam}$$

Persamaan Neraca Panas Overall

$$\text{Panas Masuk} = \text{Panas Keluar}$$

$$10770091,71 \text{ kcal/jam} + 644,435 m_v \text{ kcal/kg} = 31538532,44 \text{ kcal/jam} + 140,722 m_v$$



$$mv = 41230,682 \text{ kg/jam}$$

2. Neraca Panas Evaporator II

Panas Masuk

$$1. U_{ap} = m_{v1} \times \lambda_1$$

$$= 13022,268 \text{ kg/jam} \times 641,86 \text{ kcal/kg}$$

$$= 8358473,049 \text{ kcal/jam}$$

$$2. N_{ira} = m_{N1} \times C_{p1} \times T_1$$

$$= 74158,917 \text{ kg/jam} \times 0,898 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times 108,9 ^\circ\text{C}$$

$$= 7251838,134 \text{ kcal /jam}$$

$$\text{Total} = 15610311,18 \text{ kcal / jam}$$

Panas Keluar

$$1. K_{ondensat} = m_{v2} \times q_2$$

$$= 13022,268 \times 100,6 \text{ kcal/kg}$$

$$= 1310040,178 \text{ kcal/jam}$$

$$2. \text{Air yang diuapkan} = m_{v2} \times \lambda_2$$

$$= 13022,268 \text{ kg/jam} \times 639,39 \text{ kcal/kg}$$

$$= 8326308,047 \text{ kcal/jam}$$

$$3. N_{ira} = m_{N2} \times C_{p1} \times T_2$$

$$= 61136,648 \text{ kg/jam} \times 0,876 \text{ kcal/kg} ^\circ\text{C} \times 101,3 ^\circ\text{C}$$

$$= 5424550,432 \text{ kcal/jam}$$

$$4. Q_{loss} = \text{Panas Masuk} - \text{Panas Keluar}$$

$$= (\text{Nira pekat 1} + U_{ap} \text{ Nira I}) - (\text{Nira pekat 2} + U_{ap} \text{ Nira 2} + K_{ondensat})$$

$$= (7251838,134 + 8358473,049) - (5424550,432 + 8326308,047 + 1310040,178)$$

$$= 15610311,18 - 15060898,66$$



$$= 549412,526 \text{ kcal/jam}$$

$$= 3,52\% \text{ Panas Masuk}$$

$$= 3,52\% \times 15610311,18 \text{ kcal/jam}$$

$$= 549412,526 \text{ kcal /jam}$$

$$\text{Total} = 15610311,18 \text{ kcal/ jam}$$

3. Neraca Panas Evaporator III

Panas Masuk

$$1. U_{ap} = m_{v1} \times \lambda_1$$

$$= 13022,26817 \text{ kg/jam} \times 639,14 \text{ kcal/kg}$$

$$= 8323052,48 \text{ kcal/jam}$$

$$2. N_{ira} = m_{N1} \times C_{p1} \times T_1$$

$$= 61136,648 \text{ kg/jam} \times 0,876 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times 101,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 5424550,432 \text{ kcal /jam}$$

$$\text{Total} = 13747602,91 \text{ kcal/jam}$$

Panas Keluar

$$1. K_{ondensat} = m_{v2} \times q_2$$

$$= 13022,268 \text{ kg/jam} \times 91,86 \text{ kcal/kg}$$

$$= 1196225,554 \text{ kcal/jam}$$

$$2. A_{ir} \text{ yang diuapkan} = m_{v2} \times \lambda_2$$

$$= 13022,268 \text{ kg/jam} \times 636,24 \text{ kcal/kg}$$

$$= 8285287,902 \text{ kcal/jam}$$

$$3. N_{ira} = m_{N2} \times C_{p1} \times T_2$$

$$= 48114,380 \text{ kg/jam} \times 0,842 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 92,854^\circ\text{C}$$

$$= 3763123,466 \text{ kcal/jam}$$

$$4. Q_{loss} = \text{Panas Masuk} - \text{Panas Keluar}$$

$$= (N_{ira} \text{ pekat 2} + U_{ap} \text{ Nira 2}) - (N_{ira} \text{ pekat 3} +$$

$$U_{ap} \text{ Nira 3} + K_{ondensat})$$



$$\begin{aligned} &= (5424550,432 + 8323052,48) - (3763123,466 + \\ &\quad 8285287,902 + 1196225,554) \\ &= 13747602,91 - 13244636,92 \\ &= 502965,989 \text{ kcal/jam} \\ &= 3,66\% \text{ Panas Masuk} \\ &= 3,66\% \times 13747602,91 \text{ kcal/jam} \\ &= 502965,989 \text{ kcal /jam} \end{aligned}$$

$$\text{Total} = 13747602,91 \text{ kcal/ jam}$$

4. Neraca Panas Evaporator IV

Panas Masuk

$$\begin{aligned} 1. U_{ap} &= m_{v1} \times \lambda_1 \\ &= 13022,268 \times 635,84 \text{ kcal/kg} \\ &= 8280078,995 \text{ kcal/jam} \\ 2. N_{ira} &= m_{N1} \times C_{p1} \times T_1 \\ &= 48114,380 \text{ kg/jam} \times 0,842 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times 92,854 ^\circ\text{C} \\ &= 3763123,466 \text{ kcal /jam} \\ \text{Total} &= 12043202,46 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$

Panas Keluar

$$\begin{aligned} 1. K_{ondensat} &= m_{v2} \times q_2 \\ &= 13022,268 \text{ kg/jam} \times 80,83 \text{ kcal/kg} \\ &= 1052589.936 \text{ kcal/jam} \\ 2. A_{ir \text{ yang diuapkan}} &= m_{v2} \times \lambda_2 \\ &= 13022,26817 \text{ kg/jam} \times 632,26 \text{ kcal/kg} \\ &= 8233459,275 \text{ kcal/jam} \\ 3. N_{ira} &= m_{N2} \times C_{p1} \times T_2 \\ &= 35092,112 \text{ kg/jam} \times 0,784 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 82,444^\circ\text{C} \\ &= 2267621,653 \text{ kcal/jam} \end{aligned}$$



$$4. Q_{\text{loss}} = \text{Panas Masuk} - \text{Panas Keluar}$$

$$= (\text{Nira pekat 3} + \text{Uap Nira 3}) - (\text{Nira pekat 4} + \text{Uap Nira 4} + \text{Kondensat})$$

$$= (3763123,466 + 8280078,995) - (2267621,653 + 8233459,275 + 1052589,936)$$

$$= 12043202,46 - 11553670,86$$

$$= 489531,598 \text{ kcal/jam}$$

$$= 4,06\% \text{ Panas Masuk}$$

$$= 4,06\% \times 12043202,46 \text{ kcal/jam}$$

$$= 489531,597 \text{ kcal /jam}$$

$$\text{Total} = 12043202,46 \text{ kcal/ jam}$$

5. Neraca Panas Evaporator V

Panas Masuk

$$1. U_{\text{ap}} = m_{\text{v1}} \times \lambda_1$$

$$= 13022,268 \times 631,63 \text{ kcal/kg}$$

$$= 8225255,246 \text{ kcal/jam}$$

$$2. \text{Nira} = m_{\text{N1}} \times C_{\text{p1}} \times T_1$$

$$= 35092,112 \text{ kg/jam} \times 0,784 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times 82,4 ^\circ\text{C}$$

$$= 2267621,653 \text{ kcal /jam}$$

$$\text{Total} = 10492876,9 \text{ kcal/jam}$$

Panas Keluar

$$1. \text{Kondensat} = m_{\text{v2}} \times q_2$$

$$= 13022,268 \times 60 \text{ kcal/kg}$$

$$= 781336,090 \text{ kcal / jam}$$

$$2. \text{Air yang diuapkan} = m_{\text{v2}} \times \lambda_2$$



$$= 13022,268 \text{ kg/jam} \times 624,616 \text{ kcal/kg}$$

$$= 8133917,057 \text{ kcal/jam}$$

$$3. \text{ Nira} = m_{N2} \times C_{p1} \times T_2$$

$$= 22069,844 \text{ kg/jam} \times 0,656 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 63,537^\circ\text{C}$$

$$= 920178,433 \text{ kcal/jam}$$

$$4. \text{ Qloss} = \text{Panas Masuk} - \text{Panas Keluar}$$

$$= (\text{Nira pekat 4} + \text{Uap Nira 4}) - (\text{Nira pekat 5} +$$

$$\text{Uap Nira 5} + \text{Kondensat})$$

$$= (2267621,653 + 8225255,246) - (920178,433 +$$

$$8133917,057 + 781336,090)$$

$$= 10492876,9 - 9835431,58$$

$$= 657445,318 \text{ kcal/jam}$$

$$= 6,27\% \text{ Panas Masuk}$$

$$= 6,27\% \times 10492876,9 \text{ kcal/jam}$$

$$= 657445,32 \text{ kcal/jam}$$

$$\text{Total} = 10492876,9 \text{ kcal/jam}$$

6. Neraca Panas Overall

$$F \times h_f + S \times H_s = L \times h_l + V \times H_v + C \times h_c$$

Panas Masuk

$$1. \text{ Uap} = m_{v1} \times \lambda_1$$

$$= m_v \times 644,435 \text{ kcal/kg}$$

$$= 644,435 m_v$$

$$2. \text{ Nira} = m_{N1} \times C_{p1} \times T_1$$

$$= 111145,833 \text{ kg/jam} \times 0,932 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 104^\circ\text{C}$$

$$= 10770091,71 \text{ kcal/jam}$$

$$\text{Total} = 10770091,71 \text{ kcal/jam} + 644,435 m_v \text{ kcal/kg}$$

Panas Keluar



$$1. \text{Kondensat} = m_{v2} \times q_2$$

$$= m_v \times 60 \text{ kcal/kg}$$

$$= 60 m_v$$

$$2. \text{Air yang diuapkan} = m_{v2} \times \lambda_2$$

$$= 89075,990 \text{ kg/jam} \times 624,616 \text{ kcal/kg}$$

$$= 55638288,3 \text{ kcal/jam}$$

$$3. \text{Nira} = m_{N2} \times C_{p1} \times T_2$$

$$= 22069,844 \text{ kg/jam} \times 0,656 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 63,537^\circ\text{C}$$

$$= 920178,433 \text{ kcal/jam}$$

$$4. Q_{\text{loss}} = 5\% \text{ Panas masuk}$$

$$= 5\% \times (10770091,71 \text{ kcal/jam} + 644,435 m_v)$$

$$\text{Total} = 60 m_v \text{ kcal/kg} + 55638288,3 \text{ kcal/jam} + 920178,433$$

$$\text{kcal/jam} + (5\% \times (10770091,71 \text{ kcal/jam} + 644,435 m_v))$$

$$= 57096971,32 \text{ kcal/jam} + 92,222 m_v$$

Persamaan Neraca Panas Overall

Panas Masuk = Panas Keluar

$$10770091,71 \text{ kcal/jam} + 644,435 m_v \text{ kcal/kg} = 57096971,32 \text{ kcal/jam}$$

$$+ 92,222 m_v$$

$$m_v = 83893,097 \text{ kg/jam}$$

**Tabel IX. 13 Neraca Panas Evaporator I**

Panas Masuk	Jumlah (kcal/jam)	Panas Keluar	Jumlah (kcal / jam)
Uap Bekas	26570494,43	Kondensat	4473528,975
Nira Encer	10770091,71	H ₂ O yang diuapkan	23748189,72
		Nira Pekat I	7251838,134
		Qloss	1867029,307
Total	37340586,14	Total	37340586,14

Tabel IX. 14 Neraca panas Evaporator II

Panas Masuk	Jumlah (kcal/jam)	Panas Keluar	Jumlah (kcal / jam)
Uap Bekas	8358473,049	Kondensat	1310040,178
Nira Pekat I	7251838,134	H ₂ O yang diuapkan	8326308,047
		Nira Pekat II	5424550,432
		Qloss	549412,526
Total	15610311,18	Total	15610311,18

Tabel IX. 15 Neraca Panas Evaporator III

Panas Masuk	Jumlah (kcal/jam)	Panas Keluar	Jumlah (kcal / jam)
Uap Bekas	8323052,48	Kondensat	1196225,554
Nira Pekat II	5424550,432	H ₂ O yang diuapkan	8285287,902
		Nira Pekat III	3763123,466
		Qloss	502965,989
Total	13747602,91	Total	13747602,91

**Tabel IX. 16 Neraca Panas Evaporator IV**

Panas Masuk	Jumlah (kcal/jam)	Panas Keluar	Jumlah (kcal / jam)
Uap Bekas	8280078,995	Kondensat	1052589,936
Nira Pekat III	3763123,466	H ₂ O yang diuapkan	8233459,275
		Nira Pekat IV	2267621,653
		Qloss	489531,60
Total	12043202,46	Total	12043202,46

Tabel IX. 17 Neraca Panas Evaporator V

Panas Masuk	Jumlah (kcal/jam)	Panas Keluar	Jumlah (kcal / jam)
Uap Bekas	8225255,246	Kondensat	781336,090
Nira Pekat IV	2267621,653	H ₂ O yang diuapkan	8133917,057
		Nira Pekat V	920178,433
		Qloss	657445,32
Total	10492876,9	Total	10492876,9

Tabel IX.8 Neraca Panas Overall

Panas Masuk	Jumlah (kcal/jam)	Panas Keluar	Jumlah (kcal / jam)
Uap Bekas	54063647,8	Kondensat	5033585,805
Nira Encer	10770091,71	H ₂ O yang diuapkan	55638288,3
		Nira Pekat V	920178,433
		Qloss	3241686,98
Total	64833739,52	Total	64833739,52