



BAB IX

URAIAN TUGAS KHUSUS

IX. 1 Latar Belakang

Salah satu langkah krusial dalam pembuatan gula yaitu proses penguapan. Proses tersebut bertujuan untuk menghilangkan air dari larutan nira, sehingga meningkatkan konsentrasi gula. Dalam konteks ini, luas permukaan evaporator berperan signifikan dalam efisiensi perpindahan panas dan laju penguapan. Pabrik Gula Kebon Agung memiliki sistem operasi unit penguapan *quintuple effect*. Sistem *multiple-effect*, tekanan dan suhu evaporator selanjutnya harus lebih rendah dibandingkan evaporator sebelumnya. Selain itu, sistem ini membutuhkan *vacuum* untuk membantu proses pengaliran cairan antara evaporator agar tidak diperlukan pompa tambahan. Maka dari itu perhitungan neraca massa dan energi digunakan pada tahap desain suatu proses. Perhitungan neraca massa dan energi dilakukan terhadap empat unit mesin penguapan. Hasil akhir yang diperoleh adalah nilai luas permukaan masing - masing empat unit evaporator.

Perhitungan luas permukaan evaporator bertujuan untuk memastikan efisiensi perpindahan panas yang optimal dalam proses penguapan. Luas permukaan yang cukup besar memungkinkan perpindahan panas yang lebih efektif, mempercepat proses penguapan, dan meningkatkan kapasitas produksi. Pada industri, seperti pabrik gula, evaporator harus dirancang dengan luas permukaan yang tepat untuk menguapkan air dengan efisien dan menjaga kualitas produk. Desain yang optimal juga membantu mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional. Luas permukaan yang tidak memadai dapat menghambat proses, menurunkan efisiensi, dan meningkatkan kebutuhan.

IX.2 Tujuan

Tujuan dari tugas khusus ini adalah menghitung luas permukaan empat unit evaporator pada proses pengolahan gula yang berfungsi untuk mengoptimalkan proses penguapan dan memperoleh penghematan uap secara maksimum. Data diambil berdasarkan data dari lapangan dan data desain sheet yang diperoleh dari



study literatur.

IX.3 Manfaat

Manfaat dari menghitung luas permukaan evaporator pada PG Kebon Agung Malang dapat meningkatkan efisiensi perpindahan panas, meningkatkan kapasitas produksi, mencegah *overdesign* atau *underdesign*, serta mengurangi risiko *fouling* (penumpukan bahan).

IX.4 Tinjauan Pustaka

IX.4.1 Evaporator

Evaporator adalah suatu alat yang digunakan untuk proses evaporasi. Evaporator memiliki dua prinsip dasar yaitu untuk menukar panas dan untuk memisahkan uap air yang terlarut dalam cairan. Pada umumnya evaporator terdiri dari tiga bagian yaitu, tempat penukar panas, bagain evaporasi (tempat dimana liquid mendidih lalu menguap), dan bagian pemisah untuk memisahkan uap dari cairan lalu dimasukan ke dalam kondenser (untuk diembunkan atau dikondensasi) (Hidayat, 2021). Proses evaporasi terjadi pada salah satu komponen pelarut dengan menguapkan sebagian dari pelarut hingga mencapai titik didihnya (Faputri, 2016). Kebanyakan proses evaporasi menggunakan pelarut air. Dapat dikatakan bahwa suatu fluida berubah dari keadaan cair menjadi keadaan uap. Tujuan dilakukan evaporasi adalah untuk mendapatkan larutan cair yang pekat dengan konsentrasi tinggi. Selanjutnya larutan pekat ini biasanya lanjutkan ke proses kristalisasi.

Proses evaporasi pun melibatkan perpindahan panas dan massa pada evaporator. Panas diberikan secara tidak langsung melalui media penahan yang sesuai. Contoh evaporasi menggunakan steam sebagai sumber panas, dimana steam dialirkan melewati sisi dalam pipa-pipa yang tercelup dalam campuran atau larutan yang diuapkan (Ismiyati, 2020). Konsumsi energi pada proses penguapan merupakan indikator penting yang menunjukkan kinerja dan efisiensi pabrik, salah satunya adalah penurunan tekanan yang tinggi pada saluran masuk uap dan saluran uap keluar pada evaporator pertama sehingga menurunkan efisiensi pabrik karena dengan adanya losses uap. Maka dari itu, sistem evaporator jenis *quadruple effect*



evaporator dipilih karena memiliki kelebihan dalam hal penghematan energi (Wulandari, 2021). Dengan demikian, perancangan proses evaporasi (pemekatan), kondisi operasi sangat berpengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Kondisi operasi yang tepat dapat memastikan konsentrasi larutan tertentu dapat diperoleh (Ismiyati, 2020).

IX.4.2 Prinsip Kerja Evaporator

Prinsip kerja evaporator dilakukan dengan menambahkan kalor atau panas yang bertujuan untuk memekatkan suatu larutan. Larutan tersebut terdiri dari zat pelarut dengan titik didih rendah dan pelarut dengan titik didih tinggi. Dengan cara ini, pelarut yang memiliki titik didih tinggi akan menguap dan dihasilkan larutan yang lebih pekat dengan konsentrasi tinggi. Selain itu, prinsip kerja evaporator memiliki ketentuan yaitu pemekatan larutan didasarkan pada perbedaan titik didih antar zat-zatnya, titik didih cairan dipengaruhi oleh tekanan, dijalankan pada suhu yang lebih rendah dari titik didih normal, titik didih cairan yang mengandung zat yang tidak menguap akan tergantung tekanan dan kadar zat tersebut, beda titik didih larutan dengan titik didih cairan murni disebut kenaikan titik didih (*boiling range*) (Hidayat, 2021). Titik didih cairan dipengaruhi oleh tekanan artinya titik didih cairan adalah suhu di mana tekanan uap cairan sama dengan tekanan atmosfer di sekitarnya. Ketika tekanan diturunkan, titik didih cairan juga akan menurun. Hal ini berarti bahwa pada tekanan yang lebih rendah, cairan dapat mulai menguap pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi atmosfer normal (Firmansyah, 2018).

IX.4.3 Metode Operasi Evaporator

Evaporator dapat dioperasikan dengan beberapa metode yang berbeda, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan yang spesifik. Berikut adalah beberapa metode operasi evaporator yang umum digunakan:

1. *Single-Effect Evaporator*

Single-Effect Evaporator memiliki prinsip yaitu bahan yang akan dievaporasi masuk ke dalam ruang penguap dan diberi *steam* oleh satu luas permukaan pindah panas. Uap yang dihasilkan dari *single effect evaporator*

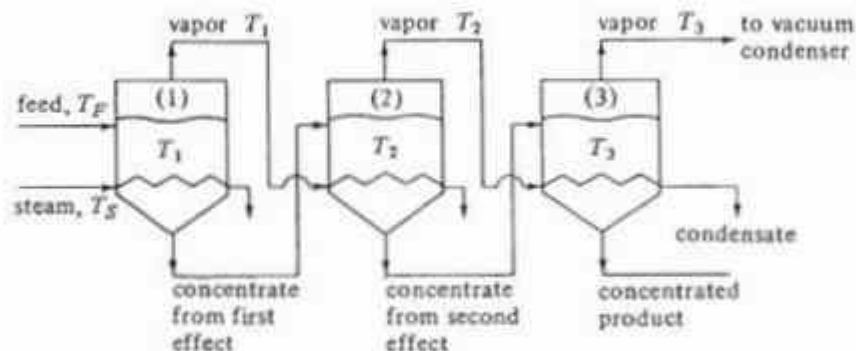
akan menjadi produk buangan. Pada *single effect evaporator*, menggunakan energi yang tergolong besar, sehingga evaporator ini jarang digunakan untuk industri besar. Meskipun metode ini sederhana namun proses ini tidak efektif dalam penggunaan uap, karena uap yang terbuang masih mengandung energi panas yang dapat dimanfaatkan (Geankoplis, 1993).

2. *Multiple-Effect Evaporator*

Multiple-Effect Evaporator berprinsip yaitu bahan dapat digunakan berkali-kali dalam sekali proses dengan penggunaan uap yang dihasilkan dari evaporator sebelumnya. Semakin banyak tahap maka semakin rendah konsumsi energinya, sehingga dapat menghemat biaya dan meningkatkan efisiensi proses. Terkadang maksimal evaporatornya terdiri dari tujuh tahap, bila lebih seringkali ditemui biaya pembuatan melebihi penghematan energi. Namun, metode ini memerlukan sistem yang lebih kompleks dan perawatan yang lebih teliti (Hidayat, 2021). *Multiple-Effect Evaporator* dibagi menjadi 3 yaitu:

a. *Forward-Feed Multiple-Effect Evaporator*

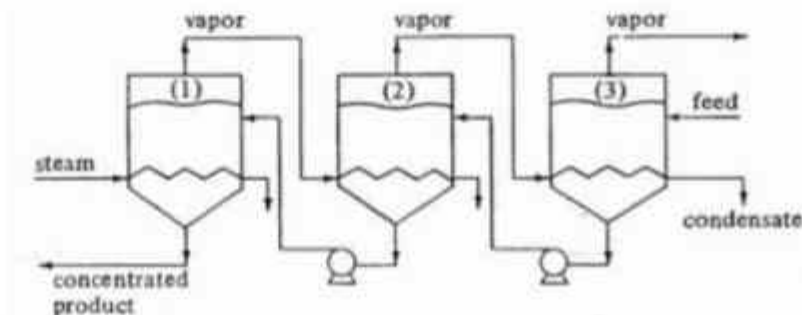
Forward-Feed Multiple-Effect Evaporator digunakan ketika larutan pekat sangat peka terhadap panas. *Feed* masuk pada evaporator pertama dan mengalir ke evaporator berikutnya dalam arah yang sama dengan aliran uap. Dimana temperatur semakin menurun dari evaporator satu ke evaporator lainnya. Penggunaan sistem ini diperlukan untuk peningkatan luas permukaan panas pada evaporator berikutnya.



Gambar IX.1 *Forward-Feed Multiple-Effect Evaporator*

b. *Backward-Feed Multiple-Effect Evaporator*

Backward-Feed Multiple-Effect Evaporator digunakan ketika larutan produk terkonsentrasi sangat kental. Pada sistem ini, umpan masuk pada evaporator terakhir dengan temperatur paling rendah dan berpindah ke evaporator lainnya dengan temperature yang semakin meningkat. Konsentrat akhir terkumpul pada evaporator terakhir dengan temperatur paling tinggi. Namun, pompa cairan digunakan dalam setiap evaporator, karena alirannya dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Suhu tinggi pada evaporator awal mengurangi viskositas dan memberikan koefisien perpindahan panas yang baik.



Gambar IX.2 *Backward-Feed Multiple-Effect Evaporator*

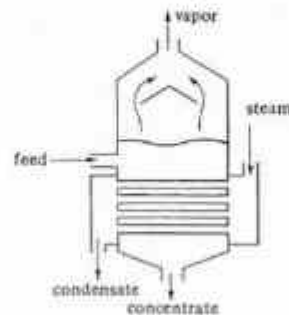
c. *Parallel-Feed Multiple-Effect Evaporator*

Parallel-Feed Multiple-Effect Evaporator melibatkan penambahan umpan dingin dan penarikan produk terkonsentrasi dari setiap evaporator. Uap dari tiap evaporator masih digunakan untuk memanaskan evaporator selanjutnya. Metode ini digunakan ketika umpan hampir jenuh dan produknya berupa kristal padat, seperti penguapan air garam untuk membuat garam (Geankoplis, 1993).

IX.4.4 Jenis-Jenis Evaporator

Secara umum, terdapat beberapa jenis evaporator lain diantaranya yaitu:

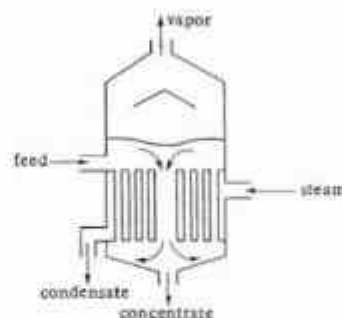
1. *Horizontal-tube natural circulation evaporator*



Gambar IX.3 *Horizontal-tube*

Horizontal-tube natural circulation evaporator cocok digunakan untuk larutan dengan viskositas yang rendah yang memiliki koefisien perpindahan panas yang tinggi dan cairan yang tidak mengendapkan kerak. Terdapat *tube horizontal* yang dipasang memanjang di antara dua plat tubular untuk tempat steam mengalir. Kondensat uap keluar di ujung tabung lainnya, sedangkan di luarnya larutan akan dipanaskan dan dipisahkan dari uapnya. Uap tersebut akan meninggalkan permukaan cairan dan sering melewati beberapa perangkat *deentraining* seperti penyekat untuk mencegah terbawanya tetesan cairan, dan keluar melalui bagian atas.

2. *Vertical-type natural circulation evaporator*

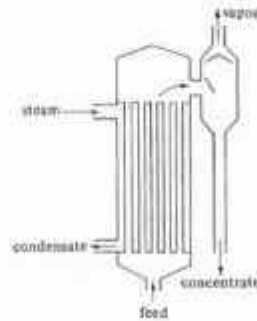


Gambar IX.4 *Vertical-tube*

Jenis ini tidak digunakan pada cairan dengan viskositas tinggi. Tipe ini sering disebut evaporator tabung pendek. Cairan akan berada di dalam tabung tersusun pada bagian bawah evaporator (*kalandria*) dan uap akan mengalir pada bagian luar tabung, karena mendidih dan berkurangnya

kepadatan, cairan akan naik di dalam tabung melalui sirkulasi alami dan mengalir ke bawah melalui ruang terbuka tengah yang besar atau *downcomer*. Sirkulasi alami ini meningkatkan koefisien perpindahan panas. Tipe ini banyak digunakan dalam industri gula, garam, dan soda api.

3. *Long-tube vertical-type evaporator*



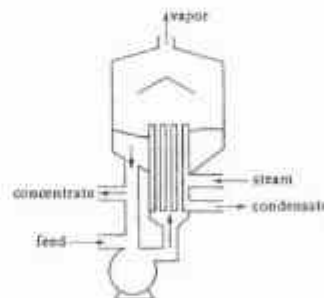
Gambar IX.5 *Long-tube vertical*

Cairan berada dalam tabung dengan panjang tabung 3-10 m. Koefisien perpindahan panas pada sisi uap sangat tinggi dibandingkan sisi cairan yang menguap sehingga kecepatan cairan yang tinggi sangat diinginkan. Pembentukan gelembung uap di dalam tabung menyebabkan aksi pemompaan kecepatan cairan cukup tinggi.

4. *Falling-film-type evaporator*

Evaporator ini berbentuk tabung panjang yang dilapisi dengan jaket uap (*steam jacket*). Cairan akan dialirkan ke bagian atas tabung dan mengalir ke bawah dinding sebagai film tipis. Pemisahan uap-cair biasanya terjadi di bagian bawah. Tipe ini banyak digunakan untuk mengonsentrasikan bahan yang sensitif terhadap panas. Koefisien perpindahan panasnya tinggi.

5. *Forced-circulation-type evaporator*



Gambar IX.6 *Forced-circulation*



Koefisien perpindahan panas lapisan cairan dapat ditingkatkan dengan penambahan pompa. Pompa ini menyebabkan sirkulasi paksa cairan di dalam tabung yang dapat meningkatkan konsentrasi dari larutan yang dihasilkan karena koefisien perpindahan panasnya dapat dijaga meskipun viskositas larutan akan terus mengalami perubahan seiring dengan waktu. Pompa ini akan menambah biaya peralatan, namun efisiensi proses meningkat dan ukuran peralatan pun dapat diperkecil. Tipe ini sangat berguna untuk cairan dengan viskositas tinggi.

6. *Agitated-film evaporator*

Evaporator berbentuk silinder dengan jaket berpemanas dan rotor yang menciptakan lapisan tipis dari cairan. Pada vertical agitated film evaporator, saat batang berputar, cairan bergerak kebawah akan terlempar ketepi tabung (bagian panas) karena putaran sirip. Cairan ditepi tabung akan terpental kembali ketengah tabung. Pada bagian atas tabung disediakan ruang untuk pemisahan uap cairan. Tipe ini sangat efisien untuk fluida dengan viskositas tinggi dan produk sensitif terhadap panas. Namun, biayanya tinggi dan kapasitasnya kecil.

(Geankoplis, 1993)

IX.4.5 Panas

Panas adalah salah satu perubahan energi, jika suatu zat menerima atau melepaskan panas. Panas dibedakan menjadi dua yaitu panas sensibel dan panas laten. Panas sensibel dapat terjadi jika suatu zat yang menerima panas sensibel mengalami peningkatan temperatur dan zat yang melepaskan panas sensibel mengalami penurunan temperatur. Panas laten dapat terjadi jika suatu zat menerima atau melepaskan panas akan mengalami perubahan temperatur. Namun jika telah mencapai keadaan jenuhnya akan terjadi perubahan fase. Terdapat dua macam kalor laten, yaitu panas laten peleburan atau pembekuan dan panas penguapan atau pengembunan, panas laten suatu zat biasanya lebih besar dari kalor sensibelnya, hal ini karena diperlukan energi yang besar untuk merubah fase suatu zat (Faputri, 2016).



IX.4.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses evaporasi diantaranya yaitu:

a. Luas permukaan

Semakin luas permukaan bidang kontak antara cairan dengan pemanas, maka jumlah molekul air yang menguap akan bertambah sehingga proses evaporasi menjadi lebih cepat.

b. Tekanan

Kenaikkan tekanan berbanding lurus dengan kenaikan titik didih. Apabila tekanan dalam kondisi vakum, titik didih cairan dapat diturunkan sehingga proses penguapan akan semakin cepat.

c. Karakteristik zat cair

1) Konsentrasi

Ketika konsentrasi larutan meningkat, sifat fisik larutan tersebut menjadi lebih individual, yang dapat mempengaruhi laju evaporasi. Cairan yang lebih encer cenderung memiliki sifat yang lebih mirip dengan air, sehingga proses evaporasinya lebih cepat dibandingkan dengan larutan yang lebih pekat.

2) Pembentukan busa

Beberapa bahan tertentu, terutama senyawa organik yang sering membentuk busa pada saat dipanaskan. Busa tersebut akan keluar dari evaporator bersama uap yang dapat mempengaruhi efisiensi proses evaporasi.

3) Titik Didih

Setiap zat cair memiliki titik didih yang berbeda. Zat dengan titik didih yang lebih rendah akan menguap lebih cepat pada suhu tertentu dibandingkan dengan zat yang memiliki titik didih lebih tinggi. Proses pemekatan larutan juga dipengaruhi oleh perbedaan titik didih antara komponen dalam larutan.

4) Viskositas

Zat cair dengan viskositas tinggi akan menguap lebih lambat dibandingkan dengan zat cair dengan viskositas lebih rendah, karena



molekul-molekul dalam zat cair dengan viskositas tinggi bergerak dengan lebih lambat dan sulit untuk lepas ke fase gas.

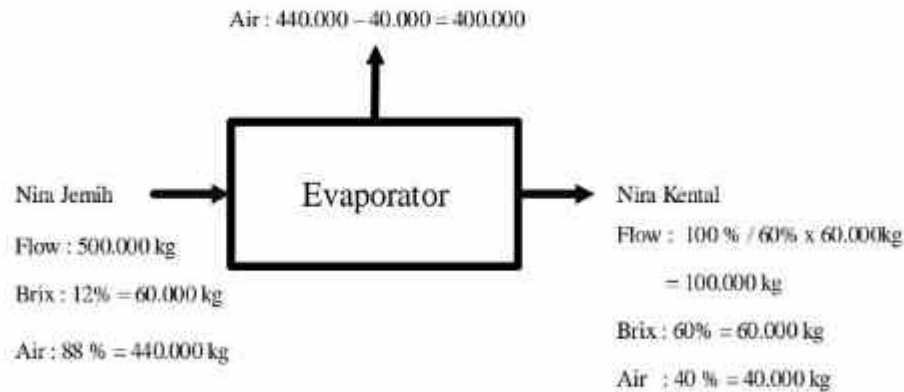
5) Kerak

Beberapa jenis zat cair dapat menyebabkan terbentuknya kerak di permukaan pemanas. Akibatnya, koefisien keseluruhan akan semakin menurun seiring waktu.

(Masyithah, 2006)

IX.5 Tugas Khusus

IX.5.1 Perhitungan Neraca Massa 4 Unit Evaporator



Gambar IX.7 Neraca Massa Unit Penguapan

Berdasarkan gambar IX.7 di atas yang menjelaskan mengenai neraca massa dari 4 unit *evaporator*. Dapat diketahui bahwa aliran nira jernih yang memasuki *evaporator* adalah sebanyak 500 ton, dengan gula yang memiliki brix sekitar 12% yang setara dengan 60 ton, dan kandungan air dalam gula yaitu 88% yang setara dengan 440 ton. Dalam *evaporator* nira jernih dipanaskan sehingga terjadi pengentalan nira. Nira kental memiliki brix sebesar 60% yang setara dengan 60 ton, dengan air yang terkandung dalam nira kental sebesar 40% atau setara dengan 40 ton. Sementara itu air yang menguap pada *evaporator* dapat dihitung dengan mengurangi jumlah air yang masuk dengan air yang keluar sehingga diperoleh nilai air yang menguap adalah 400 ton.

IX.5.2 Perhitungan Neraca Energi 4 Unit Evaporator

Data diketahui :

- Banyak nira jernih : 105 % tebu
- Derajat brix nira jernih : 12 %
- Derajat brix nira kental : 60 %
- Tekanan uap bekas : 1.8 bar
- Suhu nira jernih : 100°C
- Vacuum pada *evaporator* : 64 cmHg = 0.85 bar



Berdasarkan data diatas, maka perhitungan dapat dimulai dari :

a. Proyeksi penyebaran tekanan dan suhu uap nira

- Tekanan uap bekas : 1.8 bar
- Suhu uap bekas : 116.9°C
- Panas laten : 2210.75 kJ/kg
- Vakum pada kondensor : 64 cmHg = 0.85 bar = 1 - 0.85 = 0.15 bar
- Suhu uap nira *evaporator* IV : 53.9°C
- Total penurunan tekanan : 1.8 bar – 0.15 bar = 1.65 bar
- Total penurunan : 116.9°C – 53.9°C = 63°C

Nilai perbandingan ΔP terhadap total penurunan tekanan pada sistem *quadruple effect* untuk tiap *evaporator* yaitu (Toat, 2009) :

- *Evaporator* I : 11.50/ 40
- *Evaporator* II : 9.94/ 40
- *Evaporator* III : 8.89/ 40
- *Evaporator* IV : 9.67/ 40

Maka dari itu rumus proyeksi penyebaran tekanan dan suhu pada masing-masing *evaporator* sebagai berikut (Toat, 2009):

$$P = \text{Tekanan Uap Bekas} - \text{Perbandingan } \Delta P \times \text{Total Penurunan Tekanan} \quad (1)$$

1. *Evaporator* I

$$P1 = 1.8 \text{ bar} - \frac{11.50}{40} \times 1.65 = 1.325 \text{ bar}$$

Sehingga dari table uap diperoleh suhu = 107.6°C dan panas laten = 2236.01 kJ/kg

$$\Delta P1 = \frac{\text{tekanan uap bekas}}{\text{tekanan uap pada 1}} = \frac{1.8 \text{ bar}}{1.325 \text{ bar}} = 1.35$$

$$\text{Suhu nira di } \text{evaporator I} = 107.6 + 1.35 = 108.95^\circ\text{C}$$

$$\Delta T1 = \text{suhu uap bekas} - \text{suhu nira di } \text{evaporator I}$$

$$= 116.9^\circ\text{C} - 108.95^\circ\text{C}$$

$$= 7.95^\circ\text{C}$$



2. *Evaporator II*

$$P1 = 1.325 \text{ bar} - \frac{9.94}{40} \times 1.65 = 0.9 \text{ bar}$$

Sehingga dari table uap diperoleh suhu = 96.6°C dan panas laten = 2265.19 kJ/kg

$$\Delta P1 = \frac{\text{tekanan uap bekas}}{\text{tekanan uan padan 1}} = \frac{1.8 \text{ bar}}{0.9 \text{ bar}} = 2$$

$$\text{Suhu nira di evaporator I} = 96.6 + 2 = 98.6^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned}\Delta T1 &= \text{suhu uap bekas} - \text{suhu nira di evaporator I} \\ &= 108.95^{\circ}\text{C} - 98.6^{\circ}\text{C} \\ &= 10.35^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

3. *Evaporator III*

$$P1 = 0.9 \text{ bar} - \frac{8.89}{40} \times 1.65 = 0.53 \text{ bar}$$

Sehingga dari table uap diperoleh suhu = 82.7°C dan panas laten = 2301.04 kJ/kg

$$\Delta P1 = \frac{\text{tekanan uap bekas}}{\text{tekanan uan padan 1}} = \frac{1.8 \text{ bar}}{0.53 \text{ bar}} = 3.39$$

$$\text{Suhu nira di evaporator I} = 82.7 + 3.39 = 86.09^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned}\Delta T1 &= \text{suhu uap bekas} - \text{suhu nira di evaporator I} \\ &= 98.6^{\circ}\text{C} - 86.09^{\circ}\text{C} \\ &= 12.51^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

4. *Evaporator IV*

$$P1 = 0.53 \text{ bar} - \frac{9.67}{40} \times 1.65 = 0.13 \text{ bar}$$

Sehingga dari table uap diperoleh suhu = 51.03°C dan panas laten = 2379.47 kJ/kg

$$\Delta P1 = \frac{\text{tekanan uap bekas}}{\text{tekanan uan padan 1}} = \frac{1.8 \text{ bar}}{0.13 \text{ bar}} = 13.8$$

$$\text{Suhu nira di evaporator I} = 51.03 + 13.8 = 64.83^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned}\Delta T1 &= \text{suhu uap bekas} - \text{suhu nira di evaporator I} \\ &= 86.09^{\circ}\text{C} - 64.83^{\circ}\text{C} = 21.26^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Tabel IX.1 Perhitungan Proyeksi Penyebaran Tekanan dan Suhu Uap Nira

Jenis Uap	Tekanan (bar)	Suhu (°C)	ΔP	Suhu nira (°C)	ΔT	Panas laten (kj/kg)
Uap bekas	1.8	116.9				2210.75
Uap nira I	1.325	107.6	1.35	108.95	7.95	2236.01
Uap nira II	0.9	96.6	2	98.6	10.35	2265.19
Uap nira III	0.53	82.7	3.39	86.09	12.51	2301.04
Uap nira IV	0.13	51.03	13.8	64.83	21.26	2379.47
Jumlah					52.07	

Berdasarkan tabel diatas, maka dapat dilihat secara keseluruhan hasil perhitungan dan dapat dinilai bahwa perencanaan adalah baik karena nilai total ΔT berada diatas 40 (Toat, 2009).

b. Jumlah air yang diuapkan

Perhitungan jumlah air yang diuapkan dapat ditentukan dengan rumus berikut (Toat, 2009):

$$G_{un} = G_{nj}x(1 - \frac{b_{nj}}{b_{nk}}) \quad (2)$$

Keterangan :

G_{un} : massa total air yang diuapkan

G_{nj} : massa total air jernih = 500.000 kg

b_{nj} : brix nira jernih = 12 %

b_{nk} : brix nira kental = 60 %

Maka dari itu jumlah air yang diuapkan adalah sebagai berikut :

$$G_{un} = 500.000 \text{ kg} x(1 - \frac{12 \%}{60 \%}) = 400.000 \text{ kg}$$

c. Air yang diuapkan

Air yang diuapkan pada tiap *evaporator* akan digambarkan sebagai X dengan jumlah *evaporator* sebanyak 4 buah dan jumlah air yang di uapkan secara keseluruhan adalah 400.000 kg, maka air yang diuapkan pada tiap *evaporator* dapat dihitung sebagai berikut (Toat, 2009):

$$X = \frac{400.000 \text{ kg}}{4} = 100.000 \text{ kg}$$

d. Pemakaian uap bekas

Dari seluruh rangkaian penguapan dengan quadruple effect, *evaporator* yang memakai uap bekas adalah *evaporator* I. sesuai pada butir a, panas laten dari uap bekas dan uap nira I yaitu 2210.75 kJ/kg dan 2236.01 kJ/kg. selain itu diketahui juga faktor pengaman yaitu 1.1 maka dari itu perhitungan pemakaian uap pada *evaporator* I adalah sebagai berikut (Toat, 2009):

$$\text{Pemakaian uap bekas} = \frac{\text{uap air tiap badan} \times \text{panas laten uap nira I}}{\text{panas laten uap bekas} \times \text{faktor pengaman}} \quad (3)$$

$$\text{Pemakaian uap bekas} = \frac{100.000 \text{ kg} \times 2236.01 \text{ kJ/kg}}{2210.75 \text{ kJ/kg} \times 1.1} = 91.947 \text{ kg}$$

e. Kekentalan nira pada tiap *evaporator*

Kekentalan nira (dalam derajat brix) pada tiap *evaporator* dapat dihitung sebagai berikut (Toat, 2009):

$$b = b_{nj} \times \frac{G_{nj}}{(G_{nj} \text{ tiap badan} - x) - x} \quad (4)$$

Tabel IX.2 Perhitungan Kekentalan Nira Pada Tiap *Evaporator*

Nira	Perhitungan	Rerata
Masuk <i>evaporator</i> I	$b_0 = 12\%$	13,5%
Keluar <i>evaporator</i> I	$b_1 = 12\% \frac{500.000 \text{ kg}}{(500.000 \text{ kg} - 0 \text{ kg}) - 100.000 \text{ kg}} = 15\%$	
Keluar <i>evaporator</i> II	$b_2 = 12\% \frac{500.000 \text{ kg}}{(500.000 \text{ kg} - 100.000 \text{ kg}) - 100.000 \text{ kg}} = 20\%$	17,5%
Keluar <i>evaporator</i> III	$b_3 = 12\% \frac{500.000 \text{ kg}}{(400.000 \text{ kg} - 100.000 \text{ kg}) - 100.000 \text{ kg}} = 30\%$	25%
Keluar <i>evaporator</i> IV	$b_4 = 12\% \frac{500.000 \text{ kg}}{(300.000 \text{ kg} - 100.000 \text{ kg}) - 100.000 \text{ kg}} = 60\%$	45%

f. Koefisien penguapan spesifik

Untuk menghitung luas pemanasan maka perlu diketahui nilai koefisien penguapan spesifik. Perhitungan nilai koefisien penguapan spesifik dapat

dilakukan dengan menggunakan rumus dessin (dalam suatu metrik) (Toat, 2009):

$$C = \frac{(100-b)(t-55)}{D_n} \quad (5)$$

Keterangan :

C : nilai koefisien penguapan spesifik ($\text{kg}/\text{m}^2/^\circ\text{C}$)

b = kekentalan rata-rata nira dalam *evaporator* (% derajat brix)

t = suhu media pemanas pada bahan yang bersangkutan ($^\circ\text{C}$)

55 = suhu ($^\circ\text{C}$) uap nira *evaporator* IV pada hampa 64 cm air raksa

D_n = angka denominator, besarnya berkisar antara 960-1.200, tergantung pada kebersihan pipa yang digunakan (kerak)

Sehingga diperoleh:

Evaporator I =

$$C_1 = \frac{(100 - 13.5)(116.9 - 55)}{1.200} = 4.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}/^\circ\text{C}$$

Evaporator II =

$$C_2 = \frac{(100 - 17.5)(107.6 - 55)}{1.200} = 3.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}/^\circ\text{C}$$

Evaporator III =

$$C_3 = \frac{(100 - 25)(96.6 - 55)}{1.200} = 2.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}/^\circ\text{C}$$

Evaporator IV =

$$C_4 = \frac{(100 - 45)(82.7 - 55)}{1.200} = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}/^\circ\text{C}$$

g. Luas permukaan

Perhitungan luas permukaan (A) dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut (Toat, 2009):

$$A = \frac{q}{c \times \Delta T} \quad (6)$$

Nilai q memiliki nilai yang sama dengan X pada perhitungan jumlah nira yang diuapkan pada tiap *evaporator*, yaitu sebesar 100.000 kg. Untuk c merupakan nilai koefisien penguapan spesifik tiap *evaporator*, dan untuk ΔT merupakan nilai penurunan suhu yang nilainya dapat dilihat pada tabel IX.1. Berdasarkan



keterangan ini, maka perhitungan luas permukaan tiap *evaporator* yaitu (Toat, 2009):

Evaporator I =

$$A_1 = \frac{100.000 \text{ kg}}{4.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} / ^\circ\text{C} \times 79.5^\circ\text{C}} = 2.858 \text{ m}^2$$

Evaporator II =

$$A_2 = \frac{100.000 \text{ kg}}{3.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} / ^\circ\text{C} \times 10.35^\circ\text{C}} = 2.683 \text{ m}^2$$

Evaporator III =

$$A_3 = \frac{100.000 \text{ kg}}{2.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} / ^\circ\text{C} \times 12.51^\circ\text{C}} = 3.074 \text{ m}^2$$

Evaporator IV =

$$A_4 = \frac{100.000 \text{ kg}}{1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} / ^\circ\text{C} \times 21.26^\circ\text{C}} = 3.919 \text{ m}^2$$