



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1. Uraian Proses**

Gula kristal putih atau gula jenis SHS (Superior Hoofd Suiker) merupakan produk

utama yang dihasilkan di PG. Candi Baru melalui tahapan-tahapan berikut:

1. Proses Persiapan
2. Stasiun Gilingan
3. Stasiun Boiler
4. Stasiun Pemurnian
5. Stasiun Penguapan
6. Stasiun Masakan
7. Stasiun Putaran dan Penyelesaian

##### **II.1.1 Proses Persiapan**

Pada stasiun persiapan bertujuan untuk mempersiapkan tebu sampai tebu siap giling. Pada stasiun persiapan terdapat tiga pos, yaitu :

a. Pos Penerimaan atau Pos Pantau

Pada pos penerimaan dilakukan pemeriksaan kadar gula (brix) tebu menggunakan refraktometer dan pemeriksaan pH tebu menggunakan pH meter.

b. Pos Penimbangan

Pada pos penimbangan, truk yang bermuatan tebu di timbang terlebih dahulu, setelah muatan truk diturunkan, truk kemudian ditimbang kembali. Berat muatan yang diperoleh merupakan selisih dari berat truk bermuatan dan berat truk kosong.

c. Pos Pembongkaran

Pada pos pembongkaran, tebu dari truk dipindahkan ke lori (kereta pengangkut tebu) tebu menggunakan cane crane kemudian dipindahkan ke meja tebu sebelum masuk ke dalam stasiun gilingan. Tempat antrian tebu yang akan digiling disebut dengan Emplacement tebu. Pengambilan pada emplacement ini menggunakan sistem FIFO (First In First Out).



### **II.1.2 Stasiun gilingan**

Pada stasiun gilingan, tebu digiling dengan tujuan agar didapatkan nira tebu yang nantinya akan diproses lebih lanjut untuk menghasilkan gula produksi atau gula SHS. Namun sebelum itu tebu yang masuk pabrik harus ditimbang terlebih

dahulu pada stasiun penimbangan untuk mengetahui berat tebu yang dibawa oleh petani. Dengan begini pabrik dapat menghitung bagi hasil yang akan dilakukan dengan petani tebu sesuai dengan rendemen yang ada pada tebu yang mereka bawa.

Tebu yang masuk ke dalam pabrik diangkat dengan menggunakan truk atau lori dan dimasukkan ke dalam penampung bahan baku untuk dipotong-potong dengan menggunakan cutter. Alat cutter ini berputar sehingga tebu yang masuk dapat terpotong menjadi serpihan-serpihan tebu. Serpihan tebu ini kemudian dihancurkan dengan mesin gilingan sehingga dapat diperoleh cairan nira tebu serta ampas tebu. Nira tebu yang diperoleh dari gilingan akan ditampung dalam tangki penampung dan dipanaskan dengan menggunakan uap panas dari boiler. Nira yang dihasilkan dari proses ini masih merupakan nira yang kotor karena masih mengandung sisa-sisa tanah yang ada pada tebu, serat-serat tebu, serta ekstrak dari

daun dan kulit tanaman. (Mahfud, 2017)

Terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi kemampuan atau efisiensi kerja pada stasiun gilingan. Diantaranya adalah dari karakteristik tebu, faktor teknis, dan mekanik.

#### **a. Karakteristik tebu**

1. Kandungan serat tebu.
2. Jumlah padatan terlarut, gula invert, dan sukrosa yang ada dalam nira.
3. Kandungan dekstran, pati, dan polisakarida yang ada di dalam nira.

#### **b. Faktor teknis**

1. Metode pencacahan bahan baku tebu.
2. Volume air imbibisi yang ditambahkan.
3. Volume nira yang berhasil diekstrak pada setiap roll pemeras.
4. Nira hasil perahan pertama.

#### **c. Faktor mekanik**



1. Kecepatan putar tiap roll gilingan.
2. Besarnya tekanan hidrolis yang diberikan pada gilingan.
3. Drainase nira yang berasal dari gilingan.
4. Pengaturan inlet dan outlet dari tiap gilingan.

(Delgado, 2001)

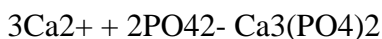
### **II.1.3 Stasiun pemurnian**

Dalam menjalankan proses produksi ini umumnya gula terbagi dalam beberapa proses yang bertujuan untuk mendapatkan gula yang bagus. Macam-macam proses pembuatan gula di Indonesia adalah sebagai berikut :

- Proses Defekasi
- Proses Sulfitasi
- Proses Karbonatasi

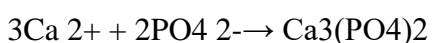
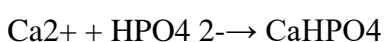
#### **1. Proses Defekasi**

Proses ini dilakukan dengan cara pemberian susu kapur sebagai reagen untuk menetralkan nira. CaO yang dipakai sekitar 0,1 – 0,13 % dan dengan kekentalan 6°Be. Susu kapur yang diberikan akan bereaksi dengan fosfat yang ada dalam nira dan akan membentuk endapan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , dengan reaksi sebagai berikut :



#### **2. Proses Sulfitasi**

Proses ini merupakan kelanjutan dari proses defekasi dengan menambahkan susu kapur dan gas  $\text{SO}_2$  sebagai reagen. Pada proses ini susu kapur yang ditambahkan berlebih yang kemudian akan dinetralkan dengan gas  $\text{SO}_2$  yang berfungsi sebagai bahan pengabsorpsi yang bukan bahan gula. Sebelum direaksikan dengan reagen, nira dipanasi terlebih dahulu sampai suhu  $75^\circ\text{C}$ . Fungsi penambahan kapur dalam proses pemurnian nira sebagai penetral pH dan mengendapkan senyawa-senyawa non gula organik maupun anorganik sebagai garam-garam Calcium dari fosfat, sulfat, silikat dan garam-garam organik . Mekanisme pembentukan endapan garam Calcium fosfat sebagai berikut :



Gas  $\text{SO}_2$  yang dihasilkan dari pembakaran belerang harus bebas asam sulfat

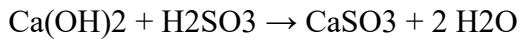
---



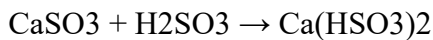
dialirkan ke tangki sulfitor. Belerang dioksida (SO<sub>2</sub>) dalam proses pemurnian nira tebu mempunyai efek- efek :

1. Menetralkan kelebihan kapur yang ditambahkan.

Sulfur dioksida bereaksi dengan Calsium membentuk endapan calsium sulfit.



Bila penambahan gas sulfit berlebih, reaksi berlanjut Calsium sulfit larut menjadi Calsium bisulfite seperti reaksi di bawah ini :



Bila nira yang asam mengandung Calsium bisulfite ini dipanaskan akan terurai lagi dan mengendapkan Calsium sulfite dan SO<sub>2</sub>. Pengendalian pH harus dilakukan sedemikian mendekati titik netral sehingga tidak terjadi reaksi bolak-balik yang menyebabkan terbentuknya gas SO<sub>2</sub> lagi dan menyebabkan korosi pada pipa-pipa dan tangki reactor.

2. Sebagai bleaching (pemucat) zat-zat warna.

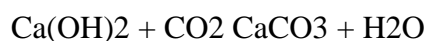
Asam-asam belerang adalah zat pemucat yang kuat. Dalam pemurnian nira berfungsi SO<sub>2</sub> memucatkan zat-zat pembentuk warna yang terdapat dalam tebu dan mencegah reaksi terbentuknya warna pada penguapan dan kristalisasi.

3. Menurunkan viskositas nira.

Sulfur dioksida berfungsi juga menurunkan viskositas larutan gula yang mempermudah dalam proses selanjutnya (kristalisasi).

### **3. Proses Karbonatasi**

Proses ini dilakukan dengan memberikan susu kapur yang berlebihan dan gas CO<sub>2</sub> sebagai penetral. Endapan yang terbentuk adalah endapan kalsiumkarbonat. Nira sebelum dikarbonatasi dipanasi terlebih dahulu mencapai suhu 55°C dengan pertimbangan bahwa diatas suhu tersebut akan terjadi kerusakan pada gula reduksi yang dapat menimbulkan warna gelap gula sedangkan dibawah suhu tersebut reaksi berjalan lambat.



Perbedaan ketiga proses tersebut selain pada cara pemurnian nira juga pada hasil produksi gula. Proses defekasi yaitu gula yang dihasilkan berwarna merah coklat yang disebut gula SHS, namun biaya pemurniannya relatif murah. Sedangkan proses sulfitasi dihasilkan gula SHS 1 yang berwarna putih karena proses pemurniannya lebih sempurna daripada proses defekasi, tetapi biayanya lebih

---



mahal dibandingkan dengan proses defekasi. Untuk proses karbonatasi gula yang dihasilkan paling baik dan biaya pemurniannya lebih mahal dari kedua proses lainnya.

#### **II.1.4 Stasiun penguapan**

Hasil dari proses pemurnian adalah “nira jernih” (clear juice). Nira yang telah jernih kemungkinan hanya memiliki kandungan gula sebanyak 15% tetapi cairan gula jenuh yang dibutuhkan dalam proses kristalisasi memiliki kandungan gulasebanyak 80%. Oleh sebab itu, langkah selanjutnya dalam proses pengolahan gula adalah proses penguapan. Penguapan dilakukan dalam bejana evaporator. Tujuan dari penguapan nira jernih adalah untuk menaikkan konsentrasi dari nira mendekati konsentrasi jenuhnya. Pada proses penguapan menggunakan multiple effect evaporator dengan kondisi vakum. Penggunaan multiple effect evaporator dengan pertimbangan untuk menghemat penggunaan uap. Sistem multiple effect evaporator terdiri dari 3 buah evaporator atau lebih yang dipasang secara seri. Di pabrik gula biasanya menggunakan 4 (quadruple) atau 5 (quintuple) buah evaporator.

Pada proses penguapan air yang terkandung dalam nira akan diuapkan. Uap baru digunakan pada evaporator badan I sedangkan untuk penguapan pada evaporator badan selanjutnya menggunakan uap yang dihasilkan evaporator badan I. Penguapan dilakukan pada kondisi vakum dengan pertimbangan untuk menurunkan titik didih dari nira. Karena nira pada suhu tertentu ( $> 1250$  C) akan mengalami karamelisasi atau kerusakan. Dengan kondisi vakum maka titik didih nira akan terjadi pada suhu 700 C. Produk yang dihasilkan dalam proses penguapan adalah ”nira kental”. (Gumilar, 2015)

#### **II.1.5 Stasiun kristalisasi**

Tujuan dari proses kristalisasi adalah untuk menghasilkan kristal sukrosa. Langkah pertama dalam proses kristalisasi adalah dengan meningkatkan kejenuhan nira dengan memasak nira di dalam vacuum pans untuk memudahkan proses produksi gula kristal. Pola kristalisasi yang biasanya digunakan adalah 2 atau 3 kristalisasi masecuite. Tiga masecuite biasanya dilakukan untuk mengurangi kadar sukrosa yang ada dalam molase dengan cara mengubahnya menjadi gula kristal. Produk yang dihasilkan dari proses masakan tersebut, kemudian dikirimkan ke cooling crystalizer agar dapat memungkinkan pemulihan

---



gula lebih lanjut. Pada proses ini, suhu dari massa dikurangi sehingga membuat sukrosa dari mother liquor ditransferkan ke kristal gula. Pada sistem 3 masecuite (A, B, C), masecuite A dan B diarahkan untuk produksi gula komersial, sementara masecuite C digunakan sebagai benih untuk produksi masecuite A dan B. Mollase yang disebut sebagai mollase akhir dipisahkan dari gula kristal dengan sentrifugasi.

Kerugian pada tahap kristalisasi produksi gula mentah terjadi karena pemulihan sukrosa yang buruk dari mollase akhir. Perlakuan pasca panen yang buruk dari tebu serta faktor-faktor industri berkontribusi pada pemulihan yang buruk ini. Faktor industri yang berkontribusi pada pemulihan yang buruk adalah :

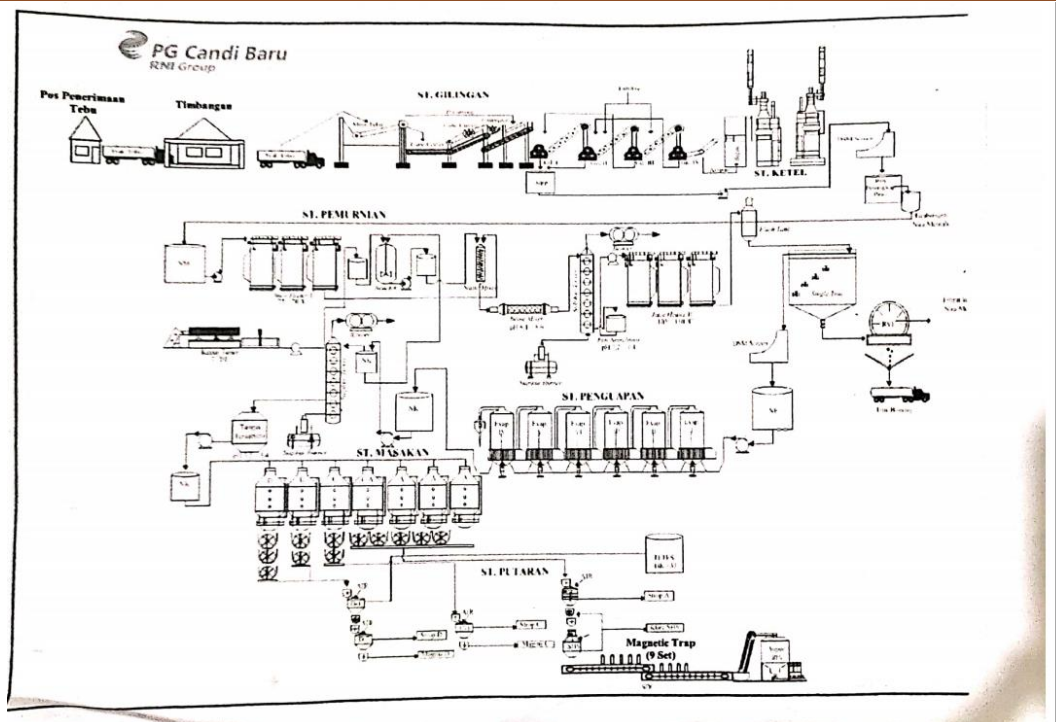
- a) Kerusakan kristal, khususnya kristal yang memanjang, pada proses sentrifugasi. Menghasilkan produksi kristal kecil di dalam mollase, sehingga meningkatkan kandungan gulanya.
- b) Penghancuran gula invert selama pengapuran dan dalam tangki evaporator pertama, sehingga meningkatkan kelarutan sukrosa dan penurunan pemulihan gula.
- c) Pendahuluan dari abu menjadi bahan intermediate melalui pendahuluan tanah dengan tebu penggunaan air untuk imbibisi pada unit ekstraksi dan penggunaan kapur kemurnian rendah.

### **II.1.6 Stasiun Sentrifugasi**

Prinsip dasar yang diterapkan pada stasiun ini adalah memisahkan antara kristal gula dengan sirupnya. Pemisahan ini memanfaatkan gaya sentrifugal atau putaran sehingga kristal gula akan tertahan pada saringan sedangkan mollase akan menembus saringan. Gula yang tertinggal inilah yang akan diproses lebih lanjut ke proses drying-cooling.

### **II.1.7 Stasiun Proses Pengeringan dan Pengemasan**

Prinsip dasar dari proses ini adalah mengeringkan gula dengan mengurangi kadar air pada kristal gula dengan menggunakan dryer. Kemudian gula yang telah kering akan diayak untuk diperoleh ukuran kristal gula yang seragam untuk dikemas, gula yang lolos dari ayakan atau undersize akan ditampung dalam tempat penyimpanan gula sebelum ditimbang dan dikemas. Gula umumnya dikemas dalam karung dengan netto 50 kg. Setelah dikemas gula akan disimpan di dalam gudang dan siap dipasarkan. (Mahfud,2017)



Gambar II.1. Flowsheet proses pengolahan gula di PT.PG Candi Baru

## II.2.Uraian Tugas Khusus

### II.2.1. Latar Belakang

Untuk menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam nira encer dengan kadar Brix 12 – 1%, sedangkan kadar Brix nira kental yang diperoleh sekitar 60 – 66%. Karena nira tidak tahan pada suhu tinggi, maka penguapan dilakukan pada kondisi vakum / hampa sehingga titik didihnya bisa diturunkan hingga 60°C. Pada proses penguapan ini, uap yang dihasilkan dari satu evaporator digunakan untuk menguapkan air pada evaporator selanjutnya. Dengan demikian dapat menghemat bahan bakar. Untuk mempelajari dan mendalami mengenai kinerja dari Evaporator ini diperlukan adanya pemahaman lebih mengenai proses yang terjadi. Oleh karena itu berdasarkan data-data yang ada dapat dilakukan pendalaman mengenai Evaporator pada PG Candi Baru.

### II.2.2.Tujuan

Adapun tujuan dari tugas khusus ini adalah sebagai berikut :

Merancang alat Evaporator pada proses penguapan dengan menghitung neraca massa dan neraca energinya.

### II.2.3.Manfaat

Dari analisis kuantitatif terhadap evaporator pada PT PG Candi Baru Sidoarjo,



diharapkan dapat merancang alat evaporator yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

## **II.2.4. Tinjauan Pustaka**

### **II.2.1.1. Evaporator**

Evaporator adalah sebuah alat yang berfungsi mengubah sebagian atau keseluruhan sebuah pelarut dari sebuah larutan dari bentuk cair menjadi uap. Evaporator mempunyai dua prinsip dasar, yaitu untuk menukar panas dan untuk memisahkan uap yang terbentuk dari cairan.

Evaporator umumnya terdiri dari tiga bagian, yaitu penukar panas, bagian evaporasi (tempat di mana cairan mendidih lalu menguap), dan pemisah untuk memisahkan uap dari cairan lalu dimasukkan ke dalam kondensor (untuk diembunkan/kondensasi) atau ke peralatan lainnya.

Hasil dari evaporator (produk yang diinginkan) biasanya dapat berupa padatan atau larutan berkonsentrasi.

### **II.2.1.2. Prinsip Kerja Evaporator**

Evaporator adalah alat untuk mengevaporasi larutan. Prinsip kerjanya dengan penambahan kalor atau panas untuk memekatkan suatu larutan yang terdiri dari zat terlarut yang memiliki titik didih tinggi dan zat pelarut yang memiliki titik didih lebih rendah sehingga dihasilkan larutan yang lebih pekat serta memiliki konsentrasi yang tinggi.

Proses evaporasi dengan skala komersial di dalam industri kimia dilakukan dengan peralatan yang namanya evaporator. Ada empat komponen dasar yang dibutuhkan dalam evaporasi yaitu : Evaporator, kondensor , injeksi uap, dan perangkap uap.

### **II.2.1.3. Tipe-tipe Evaporator**

1. Tipe evaporator berdasarkan banyak proses
  - a). Evaporator efek tunggal (single effect)





Yang dimaksud dengan single effect adalah bahwa produk hanya melalui satu buah ruang penguapan dan panas diberikan oleh satu luas permukaan pindah panas.

b). Evaporator efek ganda

Di dalam proses penguapan bahan dapat digunakan dua, tiga, empat atau lebih dalam sekali proses, inilah yang disebut dengan evaporator efek majemuk. Penggunaan evaporator efek majemuk berprinsip pada penggunaan uap yang dihasilkan dari evaporator sebelumnya.

2. Tipe evaporator berdasarkan bentuknya

a). Evaporator Sirkulasi alam paksa

Evaporator sirkulasi alami bekerja dengan memanfaatkan sirkulasi yang terjadi akibat perbedaan densitas yang terjadi akibat pemanasan.

Pada evaporator tabung, saat air mulai mendidih, maka buih air akan naik ke permukaan dan memulai sirkulasi yang mengakibatkan pemisahan liquid dan uap air di bagian atas dari tabung pemanas.

Jumlah evaporasi bergantung dari perbedaan temperatur uap dengan larutan. Sering kali pendidihan mengakibatkan sistem kering, Untuk menghindari hal ini dapat digunakan sirkulasi paksa, yaitu dengan menambahkan pompa untuk meningkatkan tekanan dan sirkulasi sehingga pendidihan tidak terjadi.

b). Falling Film Evaporator

Evaporator ini berbentuk tabung panjang (4-8 meter) yang dilapisi dengan jaket uap (steam jacket). Distribusi larutan yang seragam sangat penting. Larutan masuk dan memperoleh gaya gerak karena arah larutan yang menurun. Kecepatan gerakan larutan akan mempengaruhi karakteristik medium pemanas yang juga mengalir menurun.

Tipe ini cocok untuk menangani larutan kental sehingga sering digunakan untuk industri kimia, makanan, dan fermentasi.



c). Rising Film (Long Tube Vertical) Evaporator

Pada evaporator tipe ini, pendidihan berlangsung di dalam tabung dengan sumber panas berasal dari luar tabung (biasanya uap). Buih air akan timbul dan menimbulkan sirkulasi.

d). Plate Evaporator

Mempunyai luas permukaan yang besar, Plate biasanya tidak rata dan ditopang oleh bingkai (frame). Uap mengalir melalui ruang-ruang di antara plate. Uap mengalir secara co-current dan counter current terhadap larutan. Larutan dan uap masuk ke separasi yang nantinya uap akan disalurkan ke condenser. Epevaporator jenis ini sering dipakai pada industri susu dan fermntasi karena fleksibilitas ruangan. Tidak efektif untuk larutan kental dan padatan. (Hariyanti,2020)

#### **II.2.1.4.Quadruple Effect Evaporator**

Untuk pemrosesan gula menjadi gula putih pada skala industri sering digunakan sistem evaporator. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk produksi gula tebu dalam kapasitas besar adalah dengan menggunakan teknologi pemasakan uap bertingkat atau disebut Multi-Effect Evaporator (MEE) dan biasanya memakai Quadruple Effect Evaporator agar lebih hemat dan lebih efisien. Pada sistem ini, uap sebagai sumber panas digunakan dalam beberapa kali tingkatan sehingga penggunaannya menjadi lebih efisien. Dengan menggunakan sistem ini gula tebu juga dapat diproduksi secara kontinyu dan dalam kapasitas yang jauh lebih besar daripada dengan menggunakan metode konvensional. Multi effect evaporator merupakan salah satu alat pemrosesan bahan pertanian yang banyak digunakan dalam industri pangan dan industri lainnya, antara lain dalam pembuatan gula merah, jelly, es krim, industri kertas, dan pada proses desalinasi. Desain multi effect evaporator ini dapat dikatakan cukup kompleks dan membutuhkan perhitungan yang rumit dengan proses iterasi(Riza,2012).

#### **II.2.3. Perhitungan**

A. Total air yang diuapkan (E) :

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



Dimana :

E = Total air yang diuapkan (Kg/jam)

J= Total Feed yang masuk (Kg/jam)

S=Total Liquid yang keluar (Kg/jam)

Bj=%brix nira encer

Bs=%brix nira pekat

B.Uap Nira Evaporator Bleeding

$$P1 = \frac{S \times Cp \times \Delta T \times f}{\text{Panas Laten}}$$

Dimana

S=Total Liquid yang keluar (Kg/jam)

Cp = Kalor jenis(Kcal/kg<sup>0</sup>C)

$\Delta T$  = Suhu untuk bleeding (<sup>0</sup>C)

F = Faktor koreksi

Panas laten = (kcal/kg)

C.Perhitungan % Brix

$$\%Brix \text{ evap} = \frac{Bj \times S}{S - Evap}$$

Dimana :

Eevap = Total air yang diuapkan pada evaporator (Kg/jam)

S=Total Liquid yang keluar (Kg/jam)



Bj=% brix nira encer

D.Perhitungan % Brix Rata-Rata

$$\%Brix \text{ Rata - Rata} = \frac{\%Brix \text{ sebelum masuk evap} + \%Brix \text{ sesudah keluar evap}}{2}$$

E.Perhitungan Daya Penguapan Jenis

$$C = 0,001(100 - B)(T - 54)$$

Dimana :

C = Daya Penguapan Jenis(kg/m<sup>2</sup>°C J)

T= Suhu evaporator(°C)

B=% brix rata-rata

F. Perhitungan jumlah Steam masuk ke evap I

$$H = \frac{E1 \times \text{Panas laten uap nira I}}{\text{Panas Laten Steam}}$$

Dimana:

Panas laten = (kcal/kg)

EI = Total air yang diuapkan pada evaporator I (Kg/jam)

H= jumlah Steam masuk ke evap I(Kg/jam)

G.Perhitungan panas jenis

$$C = 1 - (0,006xBj)$$

Dimana:

C= panas jenis



---

Bj = % brix nira encer sebelum masuk evaporator

H.Suhu Kondensat

$$T_c = T_1 - 0,4(T_1 - T_2)$$

Dimana :

Tc= Suhu kondensat ( $^{\circ}$ C)

T1 = Suhu masuk evaporator ( $^{\circ}$ C)

T2=Suhu keluar Evaporator( $^{\circ}$ C)

#### II.2.4.Pembahasan

Tabel II.1. Neraca Massa Evaporator

NERACA MASSA (kg/Jam)				
Evap	Massa Masuk		Massa Keluar	
I	Nira :	1352177,48	Uap	436332,96
			Nira	915844,52
		1352177,48		1352177,5
II	Nira :	915844,521	Uap	337680,54
			Nira	578163,98
		915844,521		915844,52
III	Nira :	578163,982	Uap	235136,97
			Nira	343027,01
		578163,982		578163,98
IV	Nira :	343027,012	Uap	237782,04
			Nira	105244,97
		343027,012		343027,01



Tabel II.2. Neraca Panas Evaporator

NERACA PANAS (kcal)		
Evap	Panas Masuk	Panas Keluar
I	Steam : 265103366 Nira : 149926194  415029560	Qloss : 5187869,499 Kondensat : 46454645,51 Uap nira : 279253096,4 Nira : 84133948,53 415029559,9
II	Steam : 212837726 Nira : 84133949  296971675	Qloss : 2969716,746 Kondensat : 33227689,61 Uap nira : 215001199,2 Nira : 45773069,07 296971674,6
III	Steam : 144130019 Nira : 45773069  189903088	Qloss : 1424273,157 Kondensat : 19739496,81 Uap nira : 148183318,4 Nira : 20555999,29 189903087,7
IV	Steam : 148183318 Nira : 20555999  168739318	Qloss : 843696,5884 Kondensat : 16224450,92  Uap nira : 147909940,1 Nira : 3761230,08 168739317,7

Evaporator merupakan salah satu peralatan yang banyak menggunakan energi (*steam*) dalam proses penguapannya. Untuk itu perlu diketahui kebutuhan *steam* masing-masing evaporator, agar dapat diketahui efisiensi dari pemakaian evaporator itu sendiri. Dari data-data yang berhasil dikumpulkan baik dari *lab quality control* maupun pengamatan langsung operator, dapat dihitung kebutuhan *steam* untuk masing-masing evaporator. Untuk menguapkan massa *feed* (1352177,48 kg/jam) hingga menjadi produk dengan massa dan konsentrasi yang sama pula (105244,97 kg/jam, 60%), keempat evaporator ini membutuhkan jumlah *steam* yang berbeda.

Seperti terlihat pada Tabel II.2, kebutuhan *steam* untuk *Evaporator I* jauh lebih tinggi dibandingkan *Evaporator* yang lain. *Evaporator I*



membutuhkan 265103366 kcal *steam*, sementara *Evaporator II* hanya membutuhkan 212837726 kcal *steam*. *Evaporator III* membutuhkan jumlah *steam* yang lebih sedikit lagi, yaitu 144130019 kcal. Dan *Evaporator IV* lebih banyak dari *Evaporator III*, 148183318 kcal. Hasil perhitungan kebutuhan *steam* untuk setiap jenis evaporator ini belum sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa kebutuhan *steam* dari evaporator dengan n efek adalah  $1/n$  dari kebutuhan *steam evaporator I*, kebutuhan *steam evaporator* hampir 2 kali kebutuhan *steam evaporator I*, dan hampir 3 kali kebutuhan *steam evaporator III*, dan hampir 4 kali kebutuhan *steam Evaporator IV*. Hal ini dikarenakan adanya bleeding pada evaporator I dan evaporator II. Performa dari evaporator juga dapat dilihat dari *steam economy*-nya. *Steam economy* merupakan suatu nilai yang menyatakan kg air yang teruapkan per satu kg *steam* yang disuplai.

Dari kebutuhan *steam* masing-masing evaporator ini, terbukti bahwa *quadruple effect evaporator* merupakan evaporator yang paling hemat energi. Hal ini dikarenakan uap yang terbentuk dari proses evaporasi itu sendiri dapat digunakan sebagai media pemanas untuk efek selanjutnya. Dengan demikian efisiensi energi akan meningkat, sebab tidak diperlukan *steam* yang cukup banyak pada badan evaporator pertama. Pada *single effect evaporator*, evaporasi dilakukan langsung dari konsentrasi 32% menjadi 60% sehingga diperlukan panas yang banyak. Selain itu *single effect evaporator* juga boros karena uap yang dihasilkan langsung dibuang, padahal uap tersebut masih mengandung energi panas yang dapat dimanfaatkan.

Untuk menghemat penggunaan energi untuk dalam proses produksi, PT PG Candi Baru Sidoarjo sebaiknya tetap menggunakan *quadruple effect evaporator* dalam proses pemekatan gula. Proses final evaporasi yang selama ini dilakukan dengan *quadruple effect evaporator*, dimana PT PG Candi Baru Sidoarjo memiliki 6 unit *final evaporator*, akan lebih hemat dan efisien jika tetap menambah *effect evaporator*. Meskipun akan menambah biaya peralatan, namun penghematan energi akan lebih besar. Penambahan jumlah efek dibatasi sampai tujuh efek



saja, sebab evaporator dengan jumlah efek yang lebih besar dari tujuh efek tidak lagi dikatakan efisien. Meskipun energinya sangat hemat namun biaya yang harus dikeluarkan untuk biaya peralatan dan perawatan jauh lebih besar.