

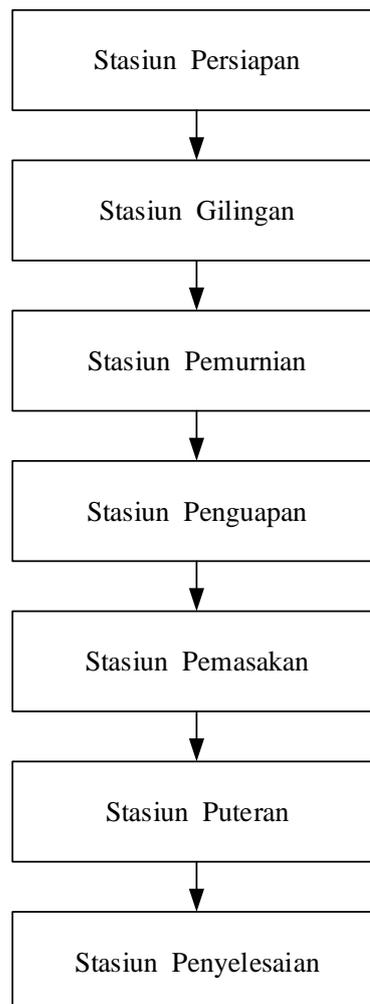


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Uraian Proses

#### II.1.1 Pembuatan Gula Secara Umum

Alur pembuatan gula dapat ditampilkan seperti pada gambar II.1 :



Gambar II.1 Alur Pembuatan Gula PT.PG Candi sidoarjo

Tahapan Proses Pembuatan Gula Secara Umum :

1. Stasiun Persiapan, untuk mempersiapkan tebu yang akan digiling.
2. Stasiun Gilingan, untuk memeras nira sebanyak-banyaknya dari tebu dan nira yang tertinggal dalam ampas sekecil mungkin.



3. Stasiun Pemurnian, untuk menghilangkan bagian bukan gula dalam nira mentah sehingga didapatkan nira bersih.
4. Stasiun Penguapan, untuk menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam nira encer.
5. Stasiun Pemasakan, untuk pembentukan dan pembesaran kristal gula.
6. Stasiun Puteran, untuk memisahkan kristal gula dari larutan induknya dengan kekuatan centrifugal.
7. Stasiun Penyelesaian, untuk mengeringkan gula SHS serta menyeleksi ukuran kristal sampai pengepakan.

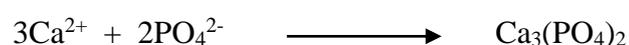
### II.1.2 Pemurnian

Proses pemurnian gula pada umumnya dapat dikelompokkan menjadi tiga proses yang bertujuan untuk mendapatkan gula yang berkualitas. 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 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) sebagai reagen untuk menetralkan nira. Pembuatan susu kapur ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) yaitu dengan mereaksikan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) dengan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) yang dipakai sekitar 0,1 – 0,13 % dan dengan kepekatan  $6^\circ\text{Be}$  . Menurut (Hartina,2014) susu kapur disiapkan dengan kepekatan antara 5-7  $^\circ\text{Be}$  (setara dengan 45-65 gram  $\text{CaO}$ /liter). Fosfat digunakan untuk membantu proses pemurnian nira mentah. Susu kapur yang diberikan akan bereaksi dengan fospat yang ada dalam nira dan akan membentuk endapan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  . Fosfat digunakan untuk membantu proses pemurnian nira mentah. Fosfat akan berikatan dengan kalsium dari susu kapur membentuk kalsium fosfat dan menjadi inti endapan dalam proses defekasi. Reaksinya adalah sebagai berikut :



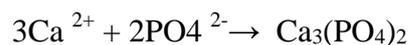
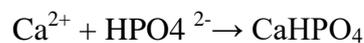
#### 2. Proses Sulfitasi

Proses ini merupakan inovasi dari proses defekasi dengan menambahkan susu

---



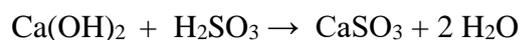
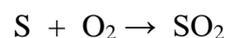
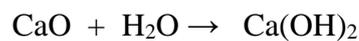
kapur dan gas  $\text{SO}_2$  sebagai reagen. Pada proses ini susu kapur yang ditambahkan berlebih yang kemudian akan dinetralkan dengan gas  $\text{SO}_2$  yang berfungsi sebagai bahan pengabsorpsi yang bukan bahan gula. Sebelum direaksikan dengan reagen, nira dipanasi terlebih dahulu sampai suhu  $75^\circ\text{C}$  yang fungsinya untuk membunuh bakteri-bakteri yang ada di dalam nira, mempercepat terjadinya reaksi pada nira, dan pada suhu ini tidak terjadi kerusakan sukrosa. Fungsi penambahan kapur dalam proses pemurnian nira sebagai penetral pH dan mengendapkan senyawa-senyawa non gula organik maupun anorganik sebagai garam-garam Calcium dari pospat, sulfat, silikat dan garam-garam organik. Mekanisme pembentukan endapan garam Calcium pospat sebagai berikut :



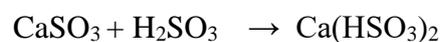
Gas  $\text{SO}_2$  yang dihasilkan dari pembakaran belerang harus bebas asam sulfat dialirkan ke tangki sulfikator. Belerang dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dalam proses pemurnian nira tebu mempunyai efek- efek :

- a) Menetralkan kelebihan kapur yang ditambahkan.

Sulfur dioksida bereaksi dengan Calcium membentuk endapan calcium sulfit.



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



Bila nira yang asam mengandung Calcium bisulfite ini dipanaskan akan terurai lagi dan mengendapkan Calcium sulfite dan  $\text{SO}_2$ . Pengendalian pH harus dilakukan sedemikian mendekati titik netral sehingga tidak terjadi reaksi bolak-balik yang menyebabkan terbentuknya gas  $\text{SO}_2$  lagi dan menyebabkan korosi pada pipa-pipa dan tangki reaktor.

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

Asam-asam belerang adalah zat pemucat yang kuat. Dalam

---



pemurnian nira berfungsi  $\text{SO}_2$  memucatkan zat-zat pembentuk warna yang terdapat dalam tebu dan mencegah reaksi terbentuknya warna pada penguapan dan kristalisasi.

- c) 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  $\text{CO}_2$  sebagai penetral. Endapan yang terbentuk adalah endapan kalsiumkarbonat. Nira sebelum dikarbonatasi dipanasi terlebih dahulu mencapai suhu  $55^\circ\text{C}$  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 menghasilkan gula yang bewarna merah coklat yang disebut gula SHS, biaya pemurnian dengan proses defekasi relatif murah. Proses sulfitasi menghasilkan 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.

## II.2 Uraian Tugas Khusus

### II.2.1 Latar Belakang

Proses penguapan bertujuan untuk menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam nira encer dengan kadar Brix 12%, sedangkan kadar Brix nira kental yang diperoleh sekitar 60% – 66% sehingga dilakukan proses penguapan pada kondisi vakum untuk menurunkan titik didih hingga  $60^\circ\text{C}$  hal ini dikarenakan nira tidak tahan terhadap suhu tinggi. 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 perhitungan neraca massa dan neraca panas pada alat evaporator. Oleh karena itu berdasarkan data-data yang ada dapat dilakukan pendalaman mengenai Evaporator pada PG Candi Baru Sidoarjo.

### **II.2.2 Tujuan**

Tujuan dari tugas khusus kerja praktek ini antara lain :

1. Untuk menghitung neraca massa pada alat evaporator
2. Untuk menghitung neraca panas pada alat evaporator
3. Untuk mengevaluasi kinerja evaporator pada PT. PG Candi Sidoarjo

### **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.2.4.1 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.

Menurut (Alwepo,2021) Konsep evaporator adalah dengan menambah kalor atau panas yang mempunyai tujuan untuk memekatkan satu larutan yang terbagi dalam zat pelarut yang mempunyai titik didih yang rendah dengan pelarut yang mempunyai titik didih yang tinggi hingga pelarut yang mempunyai titik didih yang rendah akan menguap dan cuman menyisahkan larutan yang lebih pekat dan mempunyai fokus yang tinggi. Proses penguapan mempunyai ketetapan, yakni:

1. Pemekatan larutan didasari pada ketidaksamaan titik didih antara zat- zatnya.
2. Titik didih cairan dikuasai oleh penekanan.
3. Digerakkan pada temperatur yang lebih rendah dari titik didih normal.



4. Titik didih cairan yang memiliki kandungan zat yang tidak menguap akan bergantung penekanan dan kandungan zat itu.
5. Berbeda titik didih larutan dengan titik didih cairan murni disebutkan peningkatan titik didih (boiling kisaran).

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.2.4.2 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.

Menurut (Winarto,2022) titik didih adalah suhu dimana tekanan uap dari air sama dengan tekanan di sekitarnya dan zat cair berubah menjadi suatu uap. Titik didih cairan tergantung pada tekanan lingkungan sekitarnya. Cairan dalam ruang vakum parsial memiliki titik lebih rendah dari pada ketika cairan yang pada tekanan atmosfer. Zat cair pada tekanan tinggi memiliki titik lebih tinggi dari pada ketika cairan berada pada tekanan atmosfer. Untuk tekanan yang sama, cairan yang berbeda akan mendidih pada suhu yang berbeda.

Menurut (firmansyah,2018) pada suhu dan tekanan tertentu, penguapan terjadi pada seluruh bagian zat cair. Penguapan secara menyeluruh ini dinamakan mendidih. Tekanan uap adalah ukuran dari jumlah uap yang hadir di atas cairan pada suhu tertentu. Tekanan uap di atas cairan adalah sebanding dengan suhu cairan, yang berarti semakin tinggi suhu cairan, semakin tinggi tekanan uap yang dihasilkan. Sebuah cairan mulai mendidih saat tekanan uap cairan sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya cairan.



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 perangkat uap.

### **II.2.4.3 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 akan 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. Evaporator jenis ini sering dipakai pada industri susu dan fermentasi karena fleksibilitas ruangnya. Tidak efektif untuk larutan kental dan padatan. (Hariyanti, 2020)

## II.2.5 Persamaan dalam Perhitungan Evaporator

### A. Total air yang diuapkan (E)

Konsentrasi bahan terlarut sering dinyatakan dalam satuan Brix (%) yang merupakan persentase dari bahan terlarut dalam sample (larutan air). Pada dasarnya Brix (%) dinyatakan sebagai jumlah gram dari gula tebu yang terdapat dalam larutan 100 g gula tebu. Dengan adanya brix (%) maka dapat diketahui total air yang diuapkan, adapun persamaan yang didapatkan dari buku Hugot (1986) :

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

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

Bleeding adalah pemakaian uap nira dari evaporator yang digunakan sebagai pemanas baik di juice heater maupun pan masakan sebagai pengganti uap bekas. Untuk menghitung kebutuhan masing-masing alat yang akan di *bleed* digunakan persamaan yang didapatkan dari buku Hugot (1986) :

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

Dimana :

P1 = Uap Nira Evaporator (Kg/jam)

S = Total Liquid yang keluar (Kg/jam)

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

ΔT = Suhu untuk bleeding (°C)

f = Faktor koreksi

Panas laten = (Kcal/kg)

#### C. Perhitungan % Brix

Pada dasarnya Brix (%) dinyatakan sebagai jumlah gram dari gula tebu yang terdapat dalam larutan 100 g gula tebu. Adapun untuk menghitung % brix sesudah keluar dari evaporator didapatkan dari buku Hugot (1986) :

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

Dimana :

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

S = Total Liquid yang keluar (Kg/jam)

Bj = % brix nira encer

% Brix Evap = % brix sesudah keluar dari evaporator



D. Perhitungan % Brix Rata-Rata

Adapun persamaan untuk menghitung % brix rata-rata sebagai berikut :

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

E. Perhitungan Daya Penguapan Jenis Tiap Evaporator

Adapun persamaan untuk menghitung daya penguapan jenis tiap evaporator yang didapatkan pada buku Hugot (1986) :

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

Dimana :

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

T = Suhu evaporator(°C)

B =% brix rata-rata

F. Perhitungan jumlah Steam masuk ke evap I

Adapun persamaan untuk perhitungan jumlah steam masuk pada evaporator I yang didapatkan pada buku Hugot (1986) :

$$H = \frac{E1 \times \text{Panas Laten Uap Nira 1}}{\text{Panas Laten Steam}}$$

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 tiap-tiap Evaporator

Adapun persamaan untuk perhitungan panas jenis tiap-tiap evaporator yang didapatkan pada buku Hugot (1986) :

$$C = 1 - (0,006 \times B_j)$$

Dimana :

C = Panas Jenis

B<sub>j</sub> = % brix nira encer sebelum masuk evaporator



#### H. Suhu Kondensat

Adapun persamaan untuk menghitung suhu kondensat yang didapatkan pada buku Hugot (1986) :

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

Dimana :

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

$T_1$  = Suhu masuk evaporator ( $^{\circ}C$ )

$T_2$  = Suhu keluar Evaporator ( $^{\circ}C$ )

### II.2.6 Pembahasan

Neraca Massa Evaporator dapat dilihat pada tabel II.1 dibawah ini:

Tabel II.1. Neraca Massa Evaporator

NERACA MASSA (kg/Jam)		
Evap	Massa Masuk	Massa Keluar
I	Nira : 1352177	Uap 398795
		Nira 953382
	1352177	1352177
II	Nira : 953382,3	Uap 301650
		Nira 651733
	953382,3	953382
III	Nira : 651732,7	Uap 202233
		Nira 449500
	651732,7	651733
IV	Nira : 449499,6	Uap 210288
		Nira 239212
	449499,6	449500
V	Nira : 239211,5184	Uap 206375,967
		Nira 32835,5514
	239211,5184	239211,518



Neraca panas Evaporator dapat dilihat pada tabel II.2 dibawah ini:

Tabel II.2. Neraca Panas Evaporator

NERACA PANAS (kcal)						
Evap	Panas Masuk		Panas Keluar			
I	Steam :	240269204,4	Qloss :	4877442,483		
	Nira :	149926194,2	Kondensat :	42102900,84		
			Uap nira :	255228898,2		
			Nira :	87986157,08		
				390195398,6		390195398,6
II	Steam :	188937402,7	Qloss :	2769235,598		
	Nira :	87986157,08	Kondensat :	29496431,33		
			Uap nira :	192060350,5		
			Nira :	52597542,41		
				276923559,8		276923559,8
III	Steam :	121189169,8	Qloss :	1303400,342		
	Nira :	52597542,41	Kondensat :	16597605,8		
			Uap nira :	127447292,1		
			Nira :	28438414		
				173786712,2		173786712,2
IV	Steam :	127447292,1	Qloss :	779428,5306		
	Nira :	28438414	Kondensat :	13954083,08		
			Uap nira :	130807575,7		
			Nira :	10344618,85		
				155885706,1		155885706,1
V	Steam :	130807575,7	Qloss :	352880,4863		
	Nira :	10344618,85	Kondensat :	11313496,83		
			Uap nira :	128374106,5		
			Nira :	1111710,637		
				141152194,5		141152194,5

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* masuk (1352177 kg/jam, brix 12%) hingga



menjadi produk dengan massa (32835,5514 kg/jam, brix 60%), kelima 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 240269204,4 kcal *steam*, sementara *Evaporator II* hanya membutuhkan 188937402,7 kcal *steam*. *Evaporator III* membutuhkan jumlah *steam* yang lebih sedikit lagi, yaitu 121189169,8 kcal. Dan *Evaporator IV* lebih banyak dari *Evaporator III*, 127447292,1 kcal. Dan *Evaporator V* lebih banyak dari *Evaporator IV*, 130807575,7 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  $1/2$  kali kebutuhan *steam* evaporator I, dan hampir  $1/3$  kali kebutuhan *steam* evaporator III, dan hampir  $1/4$  kali kebutuhan *steam* Evaporator IV, dan hampir  $1/5$  kali kebutuhan *steam* Evaporator V. Hal ini dikarenakan adanya *bleeding* pada evaporator I dan evaporator II.

Dari kebutuhan *steam* masing-masing evaporator ini, terbukti bahwa *quintuple effect evaporator* merupakan evaporator yang 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 *quintuple effect evaporator* dalam proses pemekatan gula. Adapun maksud dari *quintuple effect evaporator* adalah hanya lima badan evaporator yang digunakan. Proses final evaporasi yang selama ini dilakukan dengan *quintuple effect evaporator*,



dimana PT PG Candi Baru Sidoarjo memiliki 5 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.