



## BAB IX

### URAIAN TUGAS KHUSUS

#### IX.1 Judul Tugas Khusus

Judul tugas khusus pada Praktik Kerja Lapangan ini yaitu, “Evaluasi Kinerja *Quintuple Effect Evaporator* di PT. Sinergi Gula Nusantara PG. Pagottan Madiun dengan Kapasitas 3300 TCD”

#### IX.2 Latar Belakang

Proses pengolahan gula di industri gula modern tidak terlepas dari tahapan evaporasi, yaitu proses penguapan air dari nira untuk memperoleh larutan yang lebih pekat sebelum dilakukan kristalisasi. Tahap ini memiliki peran penting dalam menentukan efisiensi energi dan kualitas gula yang dihasilkan. Evaporasi memanfaatkan prinsip perpindahan panas antara uap pemanas dan larutan nira di dalam alat yang disebut evaporator. Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi panas adalah sistem *multiple effect evaporator*, di mana uap hasil evaporasi dari satu unit dimanfaatkan kembali sebagai media pemanas untuk unit berikutnya (Geankoplis, 1993).

Penggunaan sistem *multiple effect evaporator*, yang dikembangkan oleh Norbert Rillieux sejak abad ke-19, membawa perubahan besar dalam industri gula karena mampu menghemat energi uap dan mengurangi kehilangan panas. Sistem ini bekerja dengan prinsip perbedaan tekanan dan suhu antar tangki, di mana setiap efek beroperasi pada tekanan lebih rendah sehingga air dapat mendidih pada suhu lebih rendah pula. Dengan demikian, proses evaporasi berlangsung lebih efisien tanpa menyebabkan degradasi warna atau inversi gula yang sering terjadi pada suhu tinggi (Hugot, 1986).

Di PG. Pagottan Madiun, unit evaporator terdiri dari tujuh efek dengan tipe Robert Calandria yang beroperasi secara bertingkat dari tekanan tinggi hingga kondisi vakum. Sistem ini dirancang untuk memaksimalkan efisiensi pemanfaatan uap, menjaga kestabilan proses penguapan, serta menghasilkan nira kental berkualitas tinggi. Selain itu, dilakukan pula sistem *bleeding* uap untuk

memanfaatkan kembali uap bertekanan rendah pada proses pemanasan nira di unit lain, sehingga konsumsi energi semakin hemat.

Kinerja sistem evaporator ini sangat bergantung pada kondisi peralatan dan kebersihan pipa pemanas. Oleh karena itu, perawatan dan pembersihan evaporator secara berkala sangat diperlukan untuk menghindari penurunan efisiensi akibat terbentuknya kerak (*scale*) pada dinding pipa. Upaya ini dilakukan melalui metode pembersihan kimia menggunakan larutan seperti voltabio, asam sitrat, dan soda api, serta pembersihan fisik dengan penyikatan manual dan uji kebocoran menggunakan *hydrotest*. Analisis terhadap proses dan kinerja sistem *quintuple effect evaporator* di PG. Pagottan penting dalam memahami sejauh mana efisiensi panas, kualitas produk, dan efektivitas sistem evaporasi serta sistem *maintenance* yang mampu mendukung proses produksi gula yang optimal.

### IX.3 Tujuan

1. Mengetahui efisiensi proses evaporasi, meliputi kuantitas penggunaan uap dan *heat loss* pada tiap efek.
2. Menilai kerja sistem *quintuple effect evaporator*, termasuk distribusi beban panas dan kestabilan operasi antar unit.
3. Menyusun rekomendasi perbaikan dan optimasi sistem evaporator agar efisiensi energi meningkat, kualitas nira kental tetap terjaga dan meningkatkan produktivitas pengolahan.

### IX.4 Manfaat

1. Meningkatkan efisiensi energi pabrik, karena pemanfaatan uap dan panas dapat dioptimalkan untuk menekan biaya operasional.
2. Mendukung perawatan preventif (*preventive maintenance*) dengan mendeteksi lebih awal adanya penurunan performa atau potensi kerusakan pada komponen evaporator.
3. Memberikan dasar perhitungan teknis dalam pengambilan keputusan untuk modifikasi, perbaikan, atau penggantian unit evaporator di masa mendatang.

## IX.5 Metode Pengumpulan Data

4. Studi Literatur dan Data Sekunder: Kajian literatur, jurnal, dan sumber referensi terkait cara kerja *quintuple effect evaporator* dengan sistem *bleeding*. Selain itu, mengumpulkan data sekunder dari laporan operasional Stasiun Penguapan mengenai parameter kondisi operasi pada proses produksi.
5. Wawancara dan Diskusi: Wawancara dengan staf teknis, operator, dan ahli di Stasiun Penguapan agar memperoleh informasi mendalam mengenai proses evaporasi nira, kendala yang dihadapi, dan prosedur operasional yang diterapkan di lapangan.
6. Observasi Lapangan: Mengunjungi Stasiun Penguapan untuk melakukan observasi langsung terhadap sistem *quintuple effect evaporator*, mencatat kondisi aktual peralatan, serta memahami alur proses evaporasi nira yang berlangsung di Stasiun tersebut.

## IX.6 Pembahasan

### IX.6.1 Data Pengamatan Quintuple Effect Evaporator

Data operasi *Quintuple Effect Evaporator* yang diambil dari tanggal 5 September 2025 adalah sebagai berikut :

#### A. Data Kapasitas Produksi

Data Produksi Pabrik (5/9/2025):

|                              |   |          |                       |                             |
|------------------------------|---|----------|-----------------------|-----------------------------|
| Tebu yang digiling (M)       | = | 3300     | TCD                   |                             |
|                              | = | 137,5    | TCH                   |                             |
| Nira Encer %tebu (%NE)       | = | 100,39   | %                     |                             |
|                              | = | 138036,3 | kg/jam                |                             |
| %Brix Nira Encer (b NE)      | = | 11,15    | %                     |                             |
| %Brix Nira Kental (b NK)     | = | 58,65    | %                     |                             |
| Tekanan UBE ( $P_{UBE}$ )    | = | 0,70     | kg/cm <sup>2</sup> _g |                             |
|                              | = | 1,73     | kg/cm <sup>2</sup>    |                             |
| Tekanan Vacuum ( $P_{vac}$ ) | = | 65       | cmHg V                |                             |
|                              | = | 11       | cmHg                  | = 0,1495 kg/cm <sup>2</sup> |

## B. Data Evaporasi Nira di Stasiun Penguapan

Tabel IX. 1 Data Operasi Evaporator PG. Pagottan Madiun

| Kondisi | Tek. Uap                     | %Brix | °Be | HK   |
|---------|------------------------------|-------|-----|------|
| UBE     | 0,7 kg/cm <sup>2</sup> gauge |       |     |      |
| Eva. 1  |                              | 11,15 |     | 73,7 |
| Eva. 5  | 65 cmHg Vacuum               | 58,65 | 30  | 73,4 |

(Sumber : PG. Pagottan Madiun)

### IX.2.2 Perhitungan Kinerja Evaporator

#### a) *Distribution Pressure between vessel*

$$\text{Pressure drop } (\Delta P) = P_{\text{UBE}} - P_{\text{vac}} = 1,58 \text{ kg/cm}^2$$

Berdasarkan data pada Hugot (1986) tabel 32.23 hal.579

|              | Pressure drop (kg/cm <sup>2</sup> ) | Tekanan                                |
|--------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| evaporator 1 | 11/50 = 0,3484                      | 1,3848 kg/cm <sup>2</sup>              |
| evaporator 2 | 10,5/50 = 0,3326                    | 1,0522 kg/cm <sup>2</sup>              |
| evaporator 3 | 10/50 = 0,3167                      | 0,7355 kg/cm <sup>2</sup> = 54,10 cmHg |
| evaporator 4 | 9,5/50 = 0,3009                     | 0,4346 kg/cm <sup>2</sup> = 31,97 cmHg |
| evaporator 5 | 9/50 = 0,2851                       | 0,1495 kg/cm <sup>2</sup> = 11,00 cmHg |

#### b) Perhitungan total evaporasi (E)

$$E = \%NE \times M \left( 1 - \frac{b_{NE}}{b_{NK}} \right) = 111794,1 \text{ kg/jam}$$

Jadi, total evaporasi yang dibutuhkan dalam operasi sebesar 111.794,1 kg/jam

#### c) *Temperature drop*

|        | Uap (°C) | Nira (°C) | d   | True Temp. Drop |
|--------|----------|-----------|-----|-----------------|
| UBE    | 115      |           |     |                 |
| Eva. 1 | 108      | 108,8     | 0,8 | 6,2             |
| Eva. 2 | 101      | 102,1     | 1,1 | 5,9             |
| Eva. 3 | 91       | 92,6      | 1,6 | 8,4             |
| Eva. 4 | 78       | 80,7      | 2,7 | 10,3            |
| Eva. 5 | 53       | 59,7      | 6,7 | 18,3            |

d) Perhitungan uap *bleeding* ( $V_B$ )

1) Kebutuhan Juice Heater ( $V_{JH}$ )

$$\text{Suhu nira masuk (T1)} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Suhu nira keluar (T2)} = 75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Nira Mentah \%tebu (\%NM)} = 100,15 \%$$

$$\text{\%Brix Nira Mentah (BNM)} = 11,51 \%$$

Berdasarkan literatur Hugot hal. 449 eqn. 30.1

$$c = 1 - 0,006 B = 0,93094 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

*Bleeding* juice heater dengan uap nira evaporator 1 pada suhu  $108 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\text{panas laten uap (108}^\circ\text{C)} = 533,6 \text{ kcal/kg (dari tabel 41.1 Hugot (1986))}$$

$$V_{JH} = \frac{5127850,26}{506,92} = 10115,7 \text{ kg uap/jam}$$

2) Kebutuhan Pan Vacuum ( $V_{Pan}$ )

Berdasarkan Hugot (1986) hal. 666

Asumsi kebutuhan steam untuk vacuum ordinary pan 165 kg/ton tebu

Kebutuhan uap *bleeding* hanya 2/3 dari kebutuhan uap vacuum pan, maka

$$V_{Pan} = 15125 \text{ kg uap/jam}$$

$$V_B = V_{JH} + V_{Pan} = 25240,7 \text{ kg uap/jam}$$

Maka, kebutuhan uap untuk *Bleeding* yaitu 252.240,7 kg/jam

e) Menghitung evaporasi uap tiap evaporator

Berdasarkan buku Hugot (1986) hal.590

$$\text{evap. 1} \quad x + 25240,7$$

$$\text{evap. 2} \quad x$$

$$\text{evap. 3} \quad x$$

$$\text{evap. 4} \quad x$$

$$\text{evap. 5} \quad x \quad +$$

$$5 x + 25240,7 = E$$

$$5 x + 25240,7 = 111794,1$$

$$5 x = 86553,4$$

$$x = 17310,67$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{evap. 1} & 17310,7 + 25240,7 & = 42551,4 = q_1 \\
 \text{evap. 2} & 17310,7 & = q_2 \\
 \text{evap. 3} & 17310,7 & = q_3 \\
 \text{evap. 4} & 17310,7 & = q_4 \\
 \text{evap. 5} & 17310,7 & = q_1 \\
 \hline
 & 111794,1 & = E
 \end{array}$$

f) Perhitungan Brix Nira tiap evaporator

|            | Brix     | Average Brix |
|------------|----------|--------------|
| Nira Encer | 11,15 %  |              |
| Evap. 1    | 16,119 % | 13,634 %     |
| Evap. 2    | 19,688 % | 17,903 %     |
| Evap. 3    | 25,288 % | 22,488 %     |
| Evap. 4    | 35,339 % | 30,313 %     |
| Evap. 5    | 58,65 %  | 46,994 %     |

g) Menghitung koefisien specific evaporation

Menggunakan Dessin formula eqn. 32.31 dari Hugot (1986) dengan koefisien 0,001

|         | laju specific evaporation (kg/m <sup>2</sup> °C jam) |
|---------|------------------------------------------------------|
| Evap. 1 | c1 = 5,2683008                                       |
| Evap. 2 | c2 = 4,4332121                                       |
| Evap. 3 | c3 = 3,6430658                                       |
| Evap. 4 | c4 = 2,5784088                                       |
| Evap. 5 | c5 = 1,2721348                                       |

h) Menghitung kebutuhan *heating surface* (S) minimum

$$S = \frac{q}{c \times \Delta}$$

$$S_1 = 1302,7 \text{ m}^2 \approx 1325 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 661,83 \text{ m}^2 \approx 675 \text{ m}^2$$

$$S_3 = 565,68 \text{ m}^2 \approx 575 \text{ m}^2$$

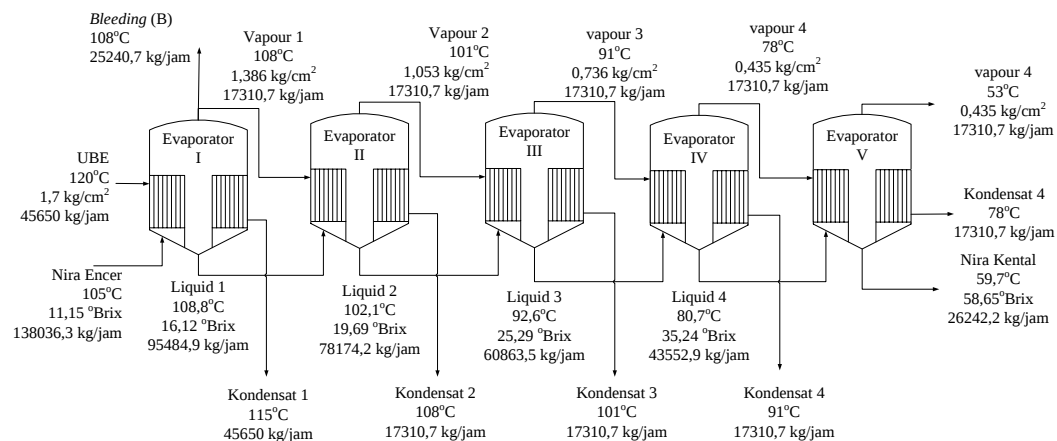
$$S_4 = 651,82 \text{ m}^2 \approx 675 \text{ m}^2$$

$$S_5 = 743,58 \text{ m}^2 \approx 750 \text{ m}^2$$

i) Menentukan kinerja evaporator

|         | Heating Surface<br>Evaporator PG.<br>Pagottan | Minimum<br>Heating Surface<br>Evaporator<br>Kebutuhan | Kinerja<br>% |
|---------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------|
| evap. 1 | 2000 m <sup>2</sup>                           | 1325 m <sup>2</sup>                                   | 66,25        |
| evap. 2 | 1400 m <sup>2</sup>                           | 675 m <sup>2</sup>                                    | 48,21        |
| evap. 3 | 1100 m <sup>2</sup>                           | 575 m <sup>2</sup>                                    | 52,27        |
| evap. 4 | 1100 m <sup>2</sup>                           | 675 m <sup>2</sup>                                    | 61,36        |
| evap. 5 | 1100 m <sup>2</sup>                           | 750 m <sup>2</sup>                                    | 68,18        |

Maka, quintuple effect evaporator di PG. Pagottan beroperasi baik hanya dengan 70% dari kapasitas maksimal dengan kapasitas giling sebesar 3300 TCD



Gambar IX. 1 Neraca Massa *Quintuple Effect Evaporator* di PG. Pagottan

Evaporator merupakan alat yang digunakan dalam proses evaporasi dalam meningkatkan konsentrasi larutan dengan memisahkan sebagian pelarut air melalui penguapan. Prinsip kerja evaporator adalah panas dikontakkan ke dalam larutan untuk menguapkan pelarut yang biasanya berupa air melalui media transfer panas seperti logam. Panas tersebut berasal dari uap air pada satu sisi permukaan logam dengan cairan yang menguap pada sisi lainnya (Geankoplis, 1993). Dalam proses *multiple effect evaporator*, nira encer akan diuapkan dengan *exhaust steam* (uap bekas turbin) dan menghasilkan uap nira dengan suhu dan tekanan yang lebih rendah dibanding uap bekas. Uap nira digunakan kembali sebagai pemanas di evaporator berikutnya, karena nira tidak akan menguap jika suhu dan tekanan antara nira dan pemanas sama maka tekanan pada evaporator berikutnya akan dikurangi

sehingga titik didih juga dapat berkurang dan air dapat menguap untuk digunakan sebagai pemanas di evaporator berikutnya. Uap nira hasil evaporator efek pertama hingga ketiga biasanya memiliki suhu yang cukup tinggi dan nilai panas laten yang tinggi sehingga bisa dimanfaatkan sebagai pemanas di unit yang lain seperti *juice heater* dan pan masakan. Pemanfaatan uap nira hasil evaporasi ini yang disebut dengan *bleeding* (Hugot, 1986).

Operasi *multiple effect evaporator* inilah yang dapat menambah efisiensi dalam penggunaan panas atau uap dalam proses pengolahan gula tebu di PG. Pagottan Madiun. Berdasarkan hasil perhitungan kinerja pada operasi *quintuple effect evaporator* PG. Pagottan pada rangkaian yang digunakan pada tanggal 5 September 2025 dengan kapasitas 3300 TCD masih berjalan normal karena dalam operasi hanya membutuhkan *heating surface* dibawah 70% dari kapasitas *heating surface* rangkaian evaporator yang digunakan. Sistem operasi *quintuple effect evaporator* dengan rangkaian tersebut masih berjalan normal (Hugot, 1986).

### IX.2.3 Perhitungan *Heat Loss* Evaporator

#### A. Data Kapasitas Panas Bahan

$$c_{\text{air}} = 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan literatur Hugot (1986) hal. 449 eqn. 30.1

$$c = 1 - 0,006 B$$

|            | %brix nira | c Nira (kcal/kg $^\circ\text{C}$ ) |
|------------|------------|------------------------------------|
| Nira Encer | 11,15      | 0,9331                             |
| Evap. 1    | 16,11883   | 0,9033                             |
| Evap. 2    | 19,68813   | 0,8819                             |
| Evap. 3    | 25,28779   | 0,8483                             |
| Evap. 4    | 35,33876   | 0,788                              |
| Evap. 5    | 58,65      | 0,6481                             |

Total heat berdasarkan literatur Hugot (1986) tabel 41.1 hal. 1034

| Suhu uap | total heat (kcal/kg) |
|----------|----------------------|
| 115      | 644,3                |
| 108      | 641,7                |
| 101      | 639,3                |
| 91       | 635,5                |
| 78       | 630,5                |
| 53       | 620,2                |

## B. Neraca Panas

### Evaporator 1

|                    |            |       |            |            |                             |
|--------------------|------------|-------|------------|------------|-----------------------------|
| Panas Masuk        |            |       |            |            |                             |
| Uap Bekas (115°C)  | 644,3      | 45650 |            | 29412295,0 | kcal/jam                    |
| Nira Encer (105°C) | 0,9331     | x     | 138036,3   | x          | 105 = 13524170,6 kcal/jam + |
|                    |            |       |            | 42936465,6 | kcal/jam                    |
| Panas Keluar       |            |       |            |            |                             |
| Bleeding (108°C)   | 641,7      | x     | 25240,7    | =          | 16196956,7 kcal/jam         |
| Vapour 1 (108°C)   | 641,7      | x     | 17310,7    | =          | 11108258,9 kcal/jam         |
| Liquid 1 (108,8°C) | 0,9033     | x     | 95484,9    | x          | 108,8 = 9384027,5 kcal/jam  |
| Kondensat (115°C)  | 1          | x     | 45650      | x          | 115 = 5249750,0 kcal/jam    |
| Heat loss          | 42936465,6 | -     | 41938993,1 | =          | 997472,5 kcal/jam +         |
|                    |            |       |            | 42936465,6 | kcal/jam                    |

$$\% \text{heat losses} = \frac{997472,5}{42936465,6} = 2,32\%$$

### Evaporator 2

|                    |            |   |            |            |                              |
|--------------------|------------|---|------------|------------|------------------------------|
| Panas Masuk        |            |   |            |            |                              |
| Vapour 1 (108°C)   | 641,7      | x | 17310,7    | =          | 11108258,9 kcal/jam          |
| Liquid 1 (108,8°C) | 0,9033     | x | 95484,9    | x          | 108,8 = 9384027,5 kcal/jam + |
|                    |            |   |            | 20492286,4 | kcal/jam                     |
| Panas keluar       |            |   |            |            |                              |
| Vapour 2 (101°C)   | 639,3      | x | 17310,7    | =          | 11066713,3 kcal/jam          |
| Liquid 2 (102,1°C) | 0,8819     | x | 78174,2    | x          | 102,1 = 7038731,1 kcal/jam   |
| Kondensat (108°C)  | 1          | x | 17310,7    | x          | 108 = 1869552,7 kcal/jam     |
| Heat loss          | 20492286,4 | - | 19974997,0 | =          | 517289,3 kcal/jam +          |
|                    |            |   |            | 20492286,4 | kcal/jam                     |

$$\% \text{heat losses} = \frac{517289,3}{20492286,4} = 2,52\%$$

#### Evaporator 3

|                    |            |   |            |   |                              |
|--------------------|------------|---|------------|---|------------------------------|
| Panas Masuk        |            |   |            |   |                              |
| Vapour 2 (101°C)   | 639,3      | x | 17310,7    | = | 11066713,3 kcal/jam          |
| Liquid 2 (102,1°C) | 0,8819     | x | 78174,2    | x | 102,1 = 7038731,1 kcal/jam + |
|                    |            |   |            |   | 18105444,3 kcal/jam          |
| Panas keluar       |            |   |            |   |                              |
| Vapour 3 (91°C)    | 635,5      | x | 17310,7    | = | 11000932,7 kcal/jam          |
| Liquid 3 (92,6°C)  | 0,8483     | x | 60863,5    | x | 92,6 = 4780836,7 kcal/jam    |
| Kondensat (101°C)  | 1          | x | 17310,7    | x | 101 = 1748378,0 kcal/jam     |
| Heat loss          | 18105444,3 | - | 17530147,4 | = | 575296,9 kcal/jam +          |
|                    |            |   |            |   | 18105444,3 kcal/jam          |

$$\% \text{heat losses} = \frac{575296,9}{18105444,3} = 3,18\%$$

#### Evaporator 4

|                   |            |   |            |   |                             |
|-------------------|------------|---|------------|---|-----------------------------|
| Panas Masuk       |            |   |            |   |                             |
| Vapour 3 (91°C)   | 635,5      | x | 17310,7    | = | 11000932,7 kcal/jam         |
| Liquid 3 (92,6°C) | 0,8483     | x | 60863,5    | x | 92,6 = 4780836,7 kcal/jam + |
|                   |            |   |            |   | 15781769,5 kcal/jam         |
| Panas keluar      |            |   |            |   |                             |
| Vapour 4 (78°C)   | 630,5      | x | 17310,7    | = | 10914379,3 kcal/jam         |
| Liquid 4 (80,7°C) | 0,788      | x | 43552,9    | x | 80,7 = 2769481,4 kcal/jam   |
| Kondensat (91°C)  | 1          | x | 17310,7    | x | 91 = 1575271,2 kcal/jam     |
| Heat loss         | 15781769,5 | - | 15259132,0 | = | 522637,4 kcal/jam +         |
|                   |            |   |            |   | 15781769,5 kcal/jam         |

$$\% \text{heat losses} = \frac{522637,4}{15781769,5} = 3,31\%$$

#### Evaporator 5

|                      |            |   |            |   |                             |
|----------------------|------------|---|------------|---|-----------------------------|
| Panas Masuk          |            |   |            |   |                             |
| Vapour 4 (78°C)      | 630,5      | x | 17310,7    | = | 10914379,3 kcal/jam         |
| Liquid 4 (80,7°C)    | 0,788      | x | 43552,9    | x | 80,7 = 2769481,4 kcal/jam + |
|                      |            |   |            |   | 13683860,8 kcal/jam         |
| Panas keluar         |            |   |            |   |                             |
| Vapour 5 (53°C)      | 620,2      | x | 17310,7    | = | 10736079,4 kcal/jam         |
| Nira Kental (59,7°C) | 0,6481     | x | 26242,2    | x | 59,7 = 1015351,4 kcal/jam   |
| Kondensat (78°C)     | 1          | x | 17310,7    | x | 78 = 1350232,5 kcal/jam     |
| Heat loss            | 13683860,8 | - | 13101663,3 | = | 582197,5 kcal/jam +         |
|                      |            |   |            |   | 13683860,8 kcal/jam         |

$$\% \text{heat losses} = \frac{582197,5}{13683860,8} = 4,25\%$$

$$\text{Steam Economy} = \frac{\text{Quantity steam produced}}{\text{Quantity steam consumed}} = \frac{111794,1}{45650} = 2,4489$$

Efisiensi panas pada operasi *quintuple effect evaporator* mengacu pada sejauh mana panas yang ada di dalam sistem dapat diubah menjadi kerja yang efektif. Efisiensi ini juga ditunjukkan dari seberapa besar panas yang hilang dalam proses di unit operasi *quintuple effect evaporator*. Untuk mengetahui efisiensi panas, dilakukan perhitungan neraca panas, yang melibatkan perbandingan antara total panas yang masuk dan total panas yang keluar dari sistem. Apabila terdapat penurunan nilai efisiensi panas dibandingkan dengan data desain, maka penting untuk memeriksa besaran panas yang hilang (*heat loss*). Berdasarkan studi oleh Hugot (1986), menyatakan apabila *heat loss* tiap efek yang telah terpasang isolasi pada tangki dan pipa penghubung memiliki *heat loss* sebesar 5%, sedangkan jika pada tangki yang terpasang isolasi dan pipa penghubung nira dan uap antar efek dibiarkan tanpa memiliki isolasi memiliki *heat loss* sebesar 3-10% dari panas yang ditiap efek atau tangki, Jika *heat losses* melebihi referensi tersebut, maka tindakan pemeliharaan alat harus segera dilakukan. Semakin *heat losses* kinerja alat tersebut, semakin sering pula diperlukan perawatan atau pemeliharaan sistem.

Berdasarkan hasil perhitungan neraca panas, ditemukan bahwa terjadi kehilangan panas pada efek pertama hingga kelima secara berturut-turut sebesar 2,32%, 2,52%, 3,18%, 3,31% dan 4,25%. Menurut Hugot (1986), operasi *multiple*

*effect evaporator* dapat bekerja secara normal ketika memiliki *heat losses* sebesar 5% tiap efeknya. *Steam economy* yang ditemukan pada operasi *quintuple effect evaporator* sebesar 2,4489, dimana *Steam economy* yang tinggi menunjukkan bahwa sistem lebih efisien yang berarti bahwa sejumlah besar air dapat diuapkan dengan sedikit uap yang digunakan. Berdasarkan hasil perhitungan ini, dapat disimpulkan bahwa operasi *quintuple effect evaporator* masih bekerja dengan normal dan layak digunakan. Namun, terdapat beberapa faktor yang kemungkinan menjadi penyebab kehilangan panas sebesar antara lain :

1. Isolasi yang tidak memadai dapat menyebabkan adanya kemungkinan panas yang hilang, sehingga efisiensi alat menurun.
2. Perpindahan panas yang tidak efektif dikarenakan kotoran atau kerak pada alat penukar panas menghambat perpindahan panas yang efektif, sehingga menyebabkan hilangnya panas.
3. Usia alat yang sudah lama dapat menyebabkan performa evaporator menurun.

## IX.7 Kesimpulan dan Saran

### IX.7.1 Kesimpulan

Berdasarkan data operasi evaporator yang telah ditemukan dan dianalisa, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Proses evaporasi pada sistem *quintuple effect evaporator* PG. Pagottan membutuhkan uap pada efek pertama hingga kelima secara berturut-turut sebesar 45650 kg/jam, 17310,7 kg/jam, 17310,7 kg/jam, 17310,7 kg/jam dan 17310,7 kg/jam dengan nilai *heat loss* secara berturut-turut sebesar 2,32%, 2,52%, 3,18%, 3,31% dan 4,25%.
2. Beban penguapan pada stasiun penguapan PG. Pagottan sebesar 111.794,1 kg/jam, dimana pada efek pertama hingga kelima memiliki beban penguapan secara berturut-turut sebesar 42551,4 kg/jam, 17310,7 kg/jam, 17310,7 kg/jam, 17310,7 kg/jam dan 17310,7 kg/jam.
3. Alat pada pengolahan gula lebih sering mengalami *scale* jika dibandingkan dengan industri lain karena nira yang mengandung gula yang dapat terkaramelisasi jika dipanaskan sehingga dibutuhkan perawatan rutin pada



stasiun evaporasi. Pengawasan pada kerja evaporator harus dilaksanakan secara intensif untuk mendeteksi penurunan kinerja lebih dini, sehingga kualitas produk nira kental dapat terjaga. Kinerja dari stasiun evaporator PG. Pagottan sendiri masih dibawah 70% dari kapasitas desain *heating surface* evaporator yang dipakai sehingga dapat meningkatkan kapasitas gilingnya.

#### IX.7.2 Saran

1. Evaporator pada efek kelima dapat dilakukan *maintenance* dalam kurun waktu 1-2 hari kedepan karena *heat loss* yang dihasilkan hampir mendekati batas nilai *heat loss* dari referensi studi oleh Hugot tahun 1986
2. Peningkatan kapasitas giling dapat dilakukan karena PG. Pagottan memiliki kapasitas alat evaporasi yang lebih besar, tentunya dengan perhitungan kelayakan teknis lebih lanjut pada stasiun-stasiun yang lain.

.