

ANALISIS PERHITUNGAN KEBUTUHAN LUAS PERMUKAAN PEMANAS EVAPORATOR PADA STASIUN PENGUAPAN PT PG KREBET BARU II MALANG

Naufal Fadhila¹, Ariani¹, Cucuk Evi Lusiani¹, Handhika Yudhistira²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PT PG Krebet Baru, Jl. Raya Krebet Bululawang No. 10, Malang 65171, Indonesia

naufalfadhila56@gmail.com ; [ariani@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Evaporator merupakan sebuah perangkat yang sangat krusial dalam proses produksi gula pasir, alat ini digunakan untuk memekatkan nira dengan cara menguapkan kandungan air di dalamnya. Pada PT Krebet Baru II, terdapat lima buah evaporator dengan konfigurasi *feed forward* dimana media pemanas masuk pada Badan Pemanas pertama bersamaan dengan nira mentah. PT PG Krebet Baru II menggunakan media pemanas berupa uap bekas yang telah digunakan untuk memutar turbin pada proses *co-generation*. Uap bekas masuk pada Badan Pemanas mengalir pada bagian *tube* evaporator untuk menukarkan panasnya pada nira sehingga sebagian kandungan air dalam nira akan mengalami penguapan. Uap yang terbentuk pada proses di Badan Pemanas pertama dilakukan proses *bleeding* untuk digunakan sebagai media pemanas *juice heater* dan *vacuum pan*, sisa dari uap yang tidak dilakukan proses *bleeding* akan dialirkan menuju ke Badan Pemanas berikutnya untuk melanjutkan proses pemekatan nira. Proses ini berlangsung hingga ke Badan Pemanas V dimana uap yang terbentuk akan dikondensasi menggunakan *jet condenser*. Studi ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis kecukupan luas permukaan Badan Pemanas pada stasiun penguapan yang terpasang apabila dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoretis pada kapasitas giling 5.800 TCD. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* dengan metode *trial-error* hingga mencapai deviasi relatif kurang dari 5%. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan temuan bahwa untuk kapasitas giling 5.800 TCD, luas permukaan Badan Pemanas terpasang sudah mencukupi untuk memekatkan nira mentah dari 13°Brix menjadi 62°Brix. Luas permukaan total terpasang sebesar 8.550 m² sudah berada di atas luas permukaan total teoretis sebesar 7.325 m² dengan sisa luas permukaan panas tersisa sebesar 1.225 m².

Kata kunci: evaporator, stasiun penguapan, luas permukaan terpasang, luas permukaan teoretis, microsoft excel

ABSTRACT

The evaporator is a crucial device in the production of granulated sugar, used to concentrate sugarcane juice by evaporating its water content. At PT Krebet Baru II, the process utilizes five evaporators in a feed-forward configuration, where the heating medium enters the first evaporator body along with raw juice. PT PG Krebet Baru II uses exhaust steam as a heating medium in evaporator, where it previously used to drive turbines in the co-generation process. The exhaust steam flows through the evaporator tubes, transferring heat to the juice and causing partial evaporation of its water content. Steam generated in the first evaporator body is bled off to serve as a heating medium for the juice heater and vacuum pan, while the remaining steam is directed to subsequent evaporator bodies to continue the evaporation process. This sequence proceeds until the fifth evaporator body, where the remaining steam is condensed using a jet condenser. This study aims to analyze the adequacy of the installed evaporator's surface area at the evaporation station compared to theoretical calculations at a milling capacity of 5.800 TCD. Calculations were performed using Microsoft Excel with a trial-and-error method until a relative deviation of less than 5% was achieved. The results show that for a milling capacity of 5.800 TCD, the installed evaporator surface area is sufficient to concentrate raw juice from 13°Brix to 62°Brix. The total installed

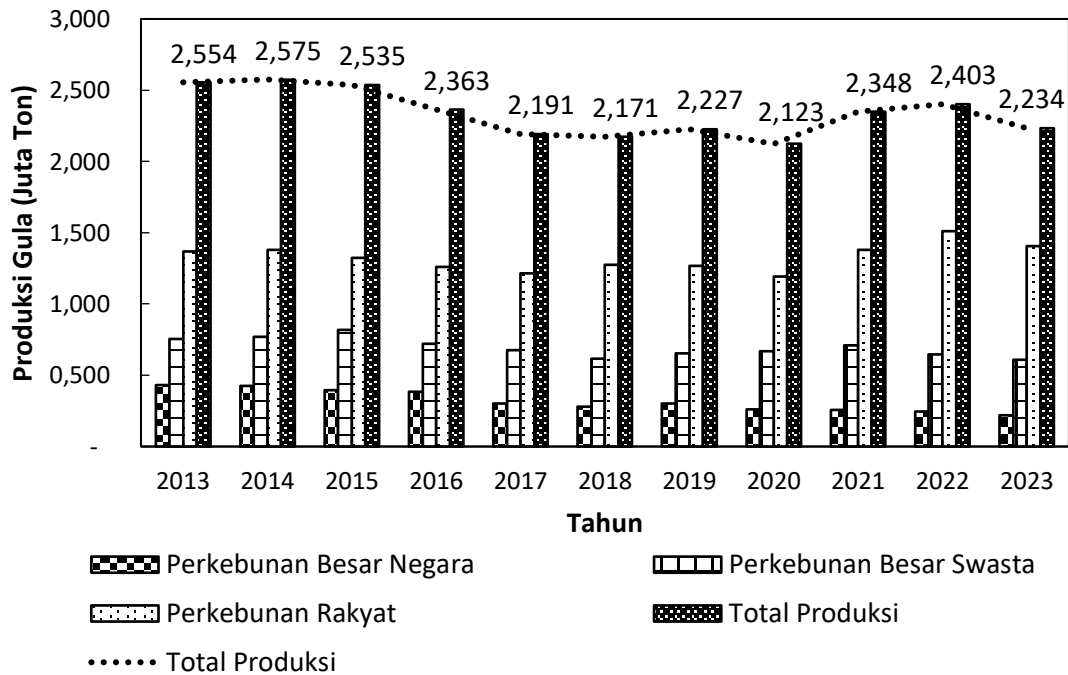


surface area of 8.550 m^2 exceeds the theoretical surface area of 7.325 m^2 , leaving a surplus heating surface area of 1.225 m^2 .

Keywords: evaporator, evaporation station, available heating surface, theoretical heating surface, microsoft excel

1. PENDAHULUAN

Gula pasir merupakan salah satu komoditas pangan yang sangat penting di Indonesia, gula pasir merupakan salah satu dari sembilan bahan pokok (sembako) yang dapat digunakan baik untuk keperluan konsumsi domestik maupun untuk kebutuhan industri. Pemerintah Indonesia sedang menargetkan terciptanya swasembada gula pada tahun 2030 melalui peraturan presiden nomor 40 tahun 2023 [1]. Kebutuhan gula pasir di Indonesia sendiri diproyeksikan mengalami peningkatan sebesar 1,48% pada tahun 2027 akibat dampak dari peningkatan jumlah penduduk Indonesia [2]. Kapasitas produksi gula di Indonesia sendiri cenderung fluktuatif, produksi gula dalam 10 tahun terakhir bisa dilihat pada Gambar 1.

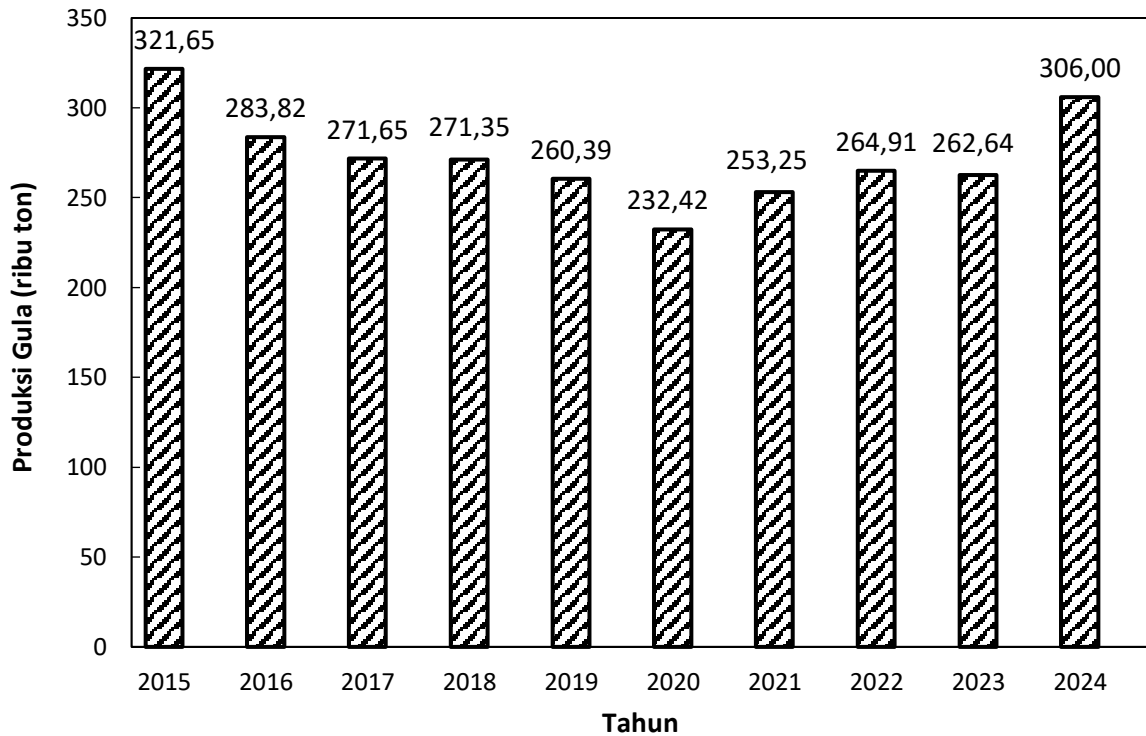


Gambar 1. Produksi gula di Indonesia dalam 10 tahun terakhir [3]

Di sisi lain, PT Rajawali Nusantara Indonesia (RNI) yang merupakan salah satu perusahaan *holding* BUMN mencatatkan peningkatan yang pesat pada musim giling 2024 ini. Tercatat terjadi peningkatan produksi gula sebesar 17% (306.000 ton) dibandingkan pada musim giling 2023 (262.640 ribu ton) [4]. Rekap data produksi gula tahunan PT RNI dapat dilihat pada

Gambar 2. Adanya tren positif di tahun 2024 ini diharapkan dapat berlanjut pada tahun-tahun berikutnya, sehingga dapat meningkatkan produksi gula pada PT RNI yang tentunya akan berkontribusi secara langsung terhadap tercapainya swasembada gula nasional pada tahun 2030. PT Krebet Baru II merupakan salah satu cabang dari PT RNI yang terletak

pada Desa Kreebet, Bululawang, Kabupaten Malang. Pabrik ini memproduksi gula dengan *grade* SHS (*Super High Sugar*) dengan kapasitas giling rata-rata 5.800 TCD (*Ton Cane per Day*) menggunakan metode defekasi-sulfitasi.

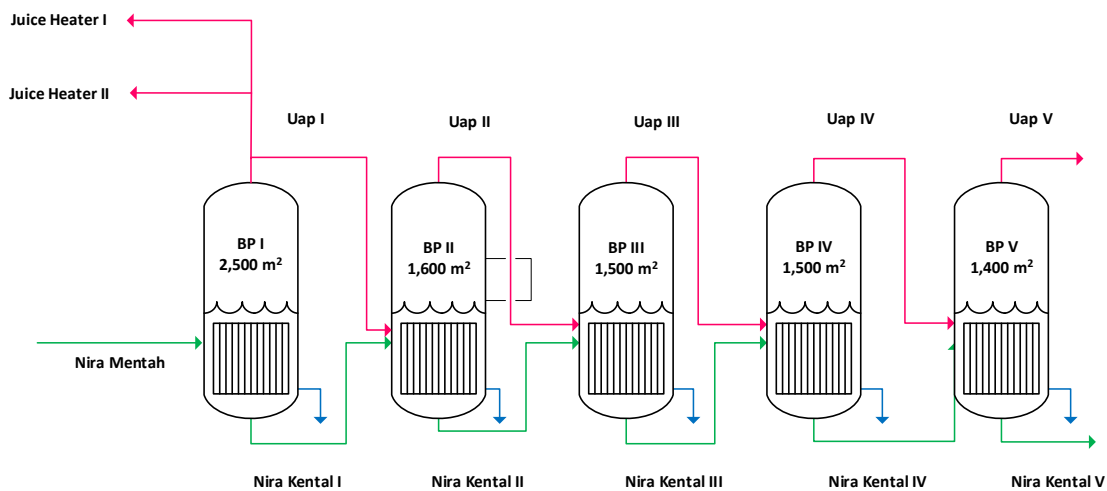


Gambar 2. Produksi gula tahunan PT Rajawali Indonesia [5]

Gula SHS diproduksi dari tebu melalui serangkaian proses, yaitu penggilingan, pemurnian, penguapan, masakan, puteran, dan penyelesaian [6]. Salah satu proses yang memegang peranan kunci dalam proses produksi gula adalah proses penguapan (evaporasi), karena pada proses ini nira mentah yang telah dimurnikan di stasiun pemurnian dipekatkan dengan cara menguapkan sebagian besar kandungan air dalam nira, sehingga menghasilkan nira yang kental di akhir proses.

PT PG Kreet Baru II menggunakan Evaporator jenis *short tube* (evaporator Robert) yang dipasang pada konfigurasi *quintuple effect* dengan konfigurasi *feed forward*, detail konfigurasinya dapat dilihat pada Gambar 3. Konfigurasi tipe *feed forward* ini tidak memerlukan adanya pompa sirkulasi, karena adanya perbedaan tekanan yang semakin kecil dari BP 1 ke BP 5 sehingga nira dapat mengalir secara alami menuju ke efek BP berikutnya. Adanya tekanan yang semakin kecil pada badan penguap akan mengakibatkan penurunan nilai titik didih, terutama pada BP dengan nomor besar. Hal ini dapat terjadi karena semakin kecil tekanan dalam suatu sistem, maka cairan (*liquid*) akan membutuhkan semakin sedikit energi untuk bisa melampaui gaya intermolekuler dan mengalir menuju udara. Konfigurasi evaporator *feed forward* ini cocok untuk digunakan pada proses penguapan gula dikarenakan kandungan sukrosa dalam nira dapat mengalami degradasi dan karamelisasi pada suhu tinggi. Apabila evaporator disusun dalam konfigurasi *feed backward* maka akan beresiko untuk

membuat kandungan sukrosa dalam gula mengalami kerusakan karena nilai titik didih yang tinggi [7].



Gambar 3. Konfigurasi proses penguapan pada PT PG Kretet Baru II

Stasiun penguapan menggunakan medium pemanas berupa uap bekas yang telah digunakan untuk memutar turbin pada proses *co-generation* akan masuk ke Badan Pemanas (BP) pertama untuk menukarkan panasnya dengan nira. Uap air yang dihasilkan pada BP I akan digunakan sebagai media pemanas untuk proses di *juice heater* dan untuk proses pada BP selanjutnya. Proses pada stasiun penguapan membutuhkan energi yang paling besar dibandingkan proses lainnya pada pabrik gula, adanya penghematan energi pada stasiun penguapan akan menurunkan kebutuhan bahan bakar yang digunakan sebagai penyedia *steam* pada unit *power house* [8].

Pada saat ini, terdapat beberapa penelitian terdahulu untuk membandingkan luas permukaan unit *heat exchanger* hasil perhitungan terhadap luas permukaan unit *heat exchanger* terpasang. Aurora (2024) melakukan analisis luas pemanas unit *juice heater* I nomor 1 pada PT PG Kretet Baru II dengan menggunakan perhitungan teoretis di *Microsoft Excel*. Penelitian ini memberikan temuan bahwa untuk basis perhitungan 5.500 TCD luas permukaan unit *juice heater* I nomor 1 hasil perhitungan ($198,13 \text{ m}^2$) memiliki nilai di atas luas permukaan terpasang (180 m^2) [9]. Penelitian serupa pada PT PG Kretet Baru II oleh Mahendra (2023) juga membandingkan kebutuhan luas permukaan pada *juice heater* II di PT PG Kretet Baru II terhadap luas permukaan *juice heater* II yang terpasang dengan menggunakan perhitungan di *Microsoft Excel*. Penelitian ini memberikan temuan bahwa untuk kapasitas giling 5.500 TCD, luas permukaan 6 unit *juice heater* II hasil perhitungan ($897,41 \text{ m}^2$) lebih kecil dibandingkan luas permukaan terpasang (1.360 m^2) [10].

Penelitian lain yang dilakukan di pabrik gula berbeda terdapat penelitian oleh Fadli dan Arba'a (2022) mengenai perbandingan luas permukaan evaporator *quintuple effect* hasil perhitungan terhadap luas permukaan evaporator terpasang. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah luas permukaan total evaporator hasil perhitungan secara teoretis ($4,041.57 \text{ m}^2$) lebih kecil dibandingkan luas permukaan total evaporator terpasang (5.100 m^2) [11].

Penelitian kali ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis luas permukaan evaporator *quintuple effect* di stasiun penguapan PT PG Kreet Baru II terhadap luas permukaan terpasang. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode neraca massa dan neraca panas menurut persamaan di Buku *Handbook of Cane Sugar Engineering* oleh Hugot (1986) [12]. Studi ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis kecukupan luas permukaan Badan Pemanas pada stasiun penguapan yang terpasang apabila dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoretis pada kapasitas giling 5.800 TCD.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Model Penelitian dan Teknik Pengumpulan Data

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif untuk membandingkan luas permukaan evaporator hasil perhitungan terhadap luas permukaan evaporator terpasang. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah observasi langsung yang ditabulasikan sebagai data primer, sedangkan data yang diambil berdasarkan hasil studi literatur ditabulasikan sebagai data sekunder.

A. Data Primer

Data primer yang diambil berupa kondisi *steady state* pada kapasitas giling 5.800 TCD, data kondisi *steady state* bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kondisi aliran nira pada proses evaporasi kapasitas 5800 TCD

Parameter	Jumlah	Satuan
Kapasitas Giling	5.800	TCD
%Nira Tebu (Data Industri)	79,72	%
Laju alir massa nira mentah	192.657	kg per jam
Konsentrasi Nira Mentah	13	°Brix
Konsentrasi Nira Kental	62	°Brix
Suhu NM Masuk JH I	60°C	°C
Suhu NM Keluar JH I	80°C	°C
Suhu NM Masuk JH II	80°C	°C
Suhu NM Keluar JH II	105°C	°C
Tekanan Uap Bekas	1,835	kgf/cm ²
Tekanan Efek Terakhir	0.19	kgf/cm ²
Suhu Nira Mentah	95	°C

Tabel 2. Spesifikasi aktual evaporator di PT PG Kreet Baru II pada Bulan September 2024

Evaporator	LP Tersedia (m ²)	Tube OD (mm)	Tube Length (mm)	No. Tube	Ketinggian Hidrostatik (cm)
1st effect	2.500	44	2.300	8.228	80
2nd effect	1.600	44	2.300	5.186	80
3rd effect	1.500	44	2.000	5.598	70
4th effect	1.500	44	2.000	5.591	70
5th effect	1.450	44	2.000	5.200	70

B. Data Sekunder

Data sekunder yang dijadikan sebagai acuan perhitungan neraca massa dan neraca panas adalah distribusi tekanan di masing-masing BP yang diambil berdasarkan rekomendasi desain menurut Hugot halaman 579 yang dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan untuk data properti uap di masing-masing BP dapat dilihat pada Tabel 4, nilai dari distribusi tekanan kemudian digunakan untuk mencari panas sensibel, laten, dan panas total berdasarkan *steam table* pada Buku Hugot halaman 1034 [12].

Tabel 3. Distribusi tekanan operasi di masing-masing evaporator di stasiun penguapan[12]

Jenis Sistem	1 st Effect	2 nd Effect	3 rd Effect	4 th Effect	5 th Effect
Triple Effect	11/30	10/30	9/30	-	-
Quadruple Effect	11/40	10,3/40	9,7/40	9/40	-
Quintuple Effect	11/50	10,5/50	10/50	9,5/50	9/50

Tabel 4. Data properti uap pada masing-masing evaporator di stasiun penguapan

Evaporator	Selisih Tekanan (ΔP) (kgf/cm ²)	Tekanan Absolut (P) (kgf/cm ²)	Suhu (T) (°C)	Sensible Heat (q) (kcal/kg)	Latent Heat (r) (kcal/kg)
Exhaust Steam	-	1,835	116,933	117,133	527,840
1st Effect	0,362	1,474	110,255	110,355	532,247
2nd Effect	0,345	1,128	102,474	102,524	537,267
3rd Effect	0,329	0,799	92,955	92,955	542,924
4th Effect	0,313	0,487	80,182	80,182	551,191
5th Effect	0,296	0,19	58,607	58,507	564,036

2.2 Pengolahan Data

A. Properti Fisik Nira

Properti fisik nira dihitung berdasarkan persamaan dari Hugot dan Alarcon [13], untuk detail hasil perhitungan dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$c_p = 1 - [0,6 - 0,0018 t_{av} + 0,0008(100 - P)] \frac{B}{100} \quad (1)$$

$$k = 6T \left(\frac{U}{1,8} \right)^{0,8} \quad (2)$$

$$\rho \text{ (g/mL)} = 1,095 + (4,8 \times 10^{-4}(T(K))) + 5,6 \times 10^{-3}C \text{ (°Brix)} \quad (3)$$

Dimana:

c_p = kapasitas panas nira (kcal/kg°C)

k = konduktivitas termal nira (kcal/m².°C.jam)

ρ = densitas nira (gram/mL)

B. Perhitungan Kebutuhan Uap *Bleeding* untuk *Juice Heater*

$$S = \frac{pc_p}{k} \ln \frac{T-t_0}{T-t} \quad (4)$$

$$M = pc_p (T - t_0) \left(1 - e^{\left(\frac{-kS}{pc_p}\right)} \right) \quad (5)$$

Dimana:

S = luas permukaan pemanas (m²) M = panas yang diserap nira (kcal/jam)
 p = laju alir massa nira (kg/jam) T = suhu uap pemanas (°C)
 t₀ = suhu nira masuk juice heater (°C) t = suhu nira keluar juice heater (°C)

C. Perhitungan Kenaikan Titik Didih (KTD Brix)

C.1 KTD Karena Peningkatan Konsentrasi Nira

$$e = \frac{2B}{(100-B)} \quad (6)$$

Dimana:

e = KTD karena peningkatan konsentrasi nira (°C)
 B = konsentrasi nira (°Brix)

C.2 KTD Karena Tekanan Hidrostatik (KTD HP)

Nilai dari KTD karena tekanan hidrostatik diambil berdasarkan Tabel 32.3 di Buku Hugot (1986). Data dari tabel tersebut dianalisis dengan menggunakan persamaan linear multivariat untuk mencari fungsi KTD berdasarkan konsentrasi dan suhu pada ketinggian nira yang tertera pada Tabel 2. Karena nilai dari signifikansi kedua parameter kurang dari 0,005, maka kedua parameter ini dikatakan sangat berpengaruh terhadap KTD nira [14].

Tabel 5. Persamaan korelasi multivariat konsentrasi dan suhu terhadap KTD tekanan hidrostatik (e')

	H = 70 cm	H = 80 cm
Persamaan Garis Lurus	$e' = 14,31 + (0,016 B) + (-0,123T_1)$	$e' = 16,03 + (0,018 B) + (-0,138T_1)$
<i>Multiple R</i>	0,9445	0,9473
<i>R Square</i>	0,8922	0,8974
<i>Adjusted R Value</i>	0,8887	0,894
<i>Significance</i>	$3,08 \times 10^{-30}$	$6,81 \times 10^{-31}$

Dimana:

H = kedalaman nira pada evaporator (cm) T = suhu nira (°C)
 e' = KTD karena tekanan hidrostatik (°C) B = konsentrasi nira (°Brix)

D. Perhitungan Luas Permukaan Pemanas Evaporator

$$c = 0,001 \times (100 - B)(T - 130) \quad (7)$$

$$HS = \frac{V}{c \times \Delta T_t} \quad (8)$$

Dimana:

c = koefisien evaporasi spesifik (kg/m².°C.h)

HS = luas permukaan evaporator (m²)

ΔT_t = true temperature drop (°C)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil neraca massa pada masing-masing BP ditabulasikan dalam Tabel 6. Hasil dari perhitungan KTD berdasarkan kenaikan konsentrasi dan tekanan hidrostatis ditabulasikan dalam Tabel 7. Data pada Tabel 6 dan Tabel 7 kemudian dihitung berdasarkan persamaan pada Sub-Bab 1 – 8, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 6. Neraca massa pada masing-masing evaporator di stasiun penguapan

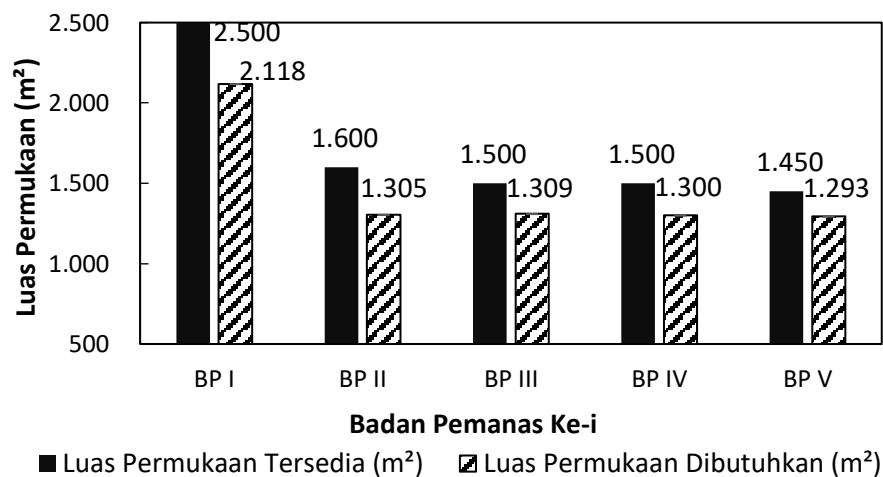
BP	Persamaan Neraca Massa	Nira Masuk	Nira Keluar	Uap	Brix	Brix	Brix
		(L _{i-1})	(L _i)	Keluar (V _i)	Masuk	Keluar	Average
		(kg/jam)	(kg/jam)	(kg/jam)	(°brix)	(°brix)	(°brix)
BP I	$F = L_1 + V_1 + B_T$	192,657	134,071	58,585	13,00	18,68	15,84
BP II	$L_1 = L_2 + V_2$	134,071	105,246	28,825	18,68	23,80	21,24
BP III	$L_2 = L_3 + V_3$	105,246	79,982	25,264	23,80	31,31	27,56
BP IV	$L_3 = L_4 + V_4$	79,982	58,902	21,080	31,31	42,52	36,92
BP V	$L_4 = L_5 + V_5$	58,902	40,396	18,506	42,52	62,00	52,26

Tabel 7. Penurunan suhu pada masing-masing evaporator di stasiun penguapan

BP/Ube	Tekanan	Suhu BP	KTD Brix	KTD HP	KTD	Suhu	True Temp.
	(kgf/cm ²)	(°C)	(e)	(e')	Total	Nira	Drop (ΔT_t)
			(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
Ube	1,835	116,933	-	-	-	-	-
I	1,474	110,255	0,381	1,08	1,463	111,718	5,215
II	1,128	102,474	0,548	2,26	2,807	105,281	4,974
III	0,799	92,955	0,759	3,26	4,021	96,976	5,498
IV	0,487	80,182	1,175	5,01	6,180	86,362	6,593
V	0,190	58,607	2,211	7,94	10,151	68,758	11,424

Tabel 8. Hasil perhitungan luas permukaan evaporator di stasiun penguapan

Badan Pemanas	Koefisien Evaporasi Spesifik (c) (kg/m ² .°C.h)	Luas Permukaan Pemanas Perhitungan (HS _c) m ²	Luas Permukaan Pemanas Terpasang (HS _a) m ²	Selisih HS m ²	Deviasi Relatif (%)
BP I	5,30	2,118	2,500	381,95	-
BP II	4,43	1,305	1,600	295,43	0,21%
BP III	3,51	1,309	1,500	190,67	0,58%
BP IV	2,46	1,300	1,500	200,00	-0,14%
BP V	1,25	1,293	1,450	156,76	-0,66%
	Total	7,325	8,550	1,225	

**Gambar 4.** Perbandingan LP tersedia dengan LP dibutuhkan

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa nilai dari luas permukaan evaporator terpasang sudah mencukupi untuk melakukan penguapan nira dari 13°Brix menjadi 62°Brix pada kapasitas giling 5.800 TCD. Hal ini bisa dilihat pada nilai luas permukaan hasil perhitungan yang lebih kecil dibandingkan luas permukaan pemanas terpasang, sehingga terdapat sisa luas permukaan terpasang sebesar 1.225 m². Adanya luas permukaan pemanas sisa ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk meningkatkan kapasitas giling harian, sehingga kedepannya dapat meningkatkan total produksi gula SHS yang dihasilkan. Apabila nilai dari total luas permukaan pemanas terpasang kurang dari total luas permukaan hasil perhitungan, maka kapasitas giling eksisten perlu untuk ditinjau ulang agar kondisi nira kental hasil proses evaporasi sesuai dengan ketentuan awal industri.

Untuk mendukung validitas data hasil perhitungan, dilakukan *trial-error* hingga nilai dari deviasi relatif pada Tabel 8 bisa kurang dari 5% [7]. Nilai dari luas permukaan evaporator yang setara akan mengurangi biaya manufaktur dan membuat proses fabrikasi lebih sederhana [15]. Evaporator BP awal dapat disesuaikan untuk menyuplai uap *bleeding* sesuai dengan kebutuhan uap pemanas di stasiun lain [12].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Nilai dari luas permukaan pemanas evaporator *quintuple effect* sudah cukup untuk melakukan proses pemekatan nira dari 13°Brix menjadi 62°Brix pada kapasitas giling 5.800 TCD, Luas permukaan evaporator terpasang juga sudah cukup untuk menyuplai uap *bleeding* pada JH I dan JH II, Sisa luas permukaan pemanas sebesar 1.225 m², dengan total luas permukaan hasil perhitungan sebesar 7.325 m² dan luas permukaan terpasang sebesar 8.550 m². Adanya sisa luas permukaan pemanas ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk meningkatkan kapasitas giling harian di PT PG Krebet Baru II.

Adapun beberapa saran untuk para peneliti selanjutnya yang bisa dilakukan untuk melanjutkan hasil penelitian ini adalah melakukan penelitian lebih lanjut mengenai peningkatan kapasitas giling harian di atas 5.800 TCD, melakukan perhitungan yang lebih detail tentang kebutuhan uap *bleeding* sebagai medium pemanas di stasiun masakan (unit *vacuum pan*), dan melakukan eksplorasi mengenai kemungkinan optimasi energi pada stasiun penguapan dikarenakan pada kondisi eksisten hanya uap dari BP I yang dijadikan sebagai sumber uap *bleeding*.

REFERENSI

- [1] Pemerintah Indonesia, *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2023 tentang Percepatan Swasembada Gula Nasional dan penyediaan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Nabati (Biofuel)*, 2023.
- [2] Kementerian Pertanian, "Outlook Tebu 2023," 2023.
- [3] Badan Pusat Statistik, "Statistik Tebu Indonesia 2023," 2024.
- [4] R. Anggraeni, "ID Food Catat Kenaikan Produksi Gula 17%, Tertinggi dalam 5 Tahun Terakhir." 2024.
- [5] PT Rajawali Nusantara Indonesia (Persero), "Laporan Tahunan 2023," 2024.
- [6] K. Eka Sari dan C. Meidiana, "The use of sugar-cane waste (Bagasse) energy as substitution of fossil-fuel energy in Krebet Sugar Factory, East Java, Indonesia," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, 2019.
- [7] C. J. Geankoplis, *Transport Processes and Separation Processes Principles 5th Edition*, 5 ed, 2018.
- [8] G. Chauhan dan M. Vaseem, "The Steam Conservation Study of Sugar Industry," *International Journal of Mechanical and Production*, hal. 71–82, 2019.
- [9] A. D. Aurora, F. N. Bratastuti, M. Mufid, dan P. J. Ramadhan, "Analisis Perhitungan Luas Pemanasan Juice Heater I Pada Stasiun Pemurnian," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 2, hal. 485–491, 2024.
- [10] A. R. Mahendra, Mufid, P. J. Ramadhan, dan M. Handayani, "Analisis Kebutuhan Luas Permukaan Pemanas Juice Heater II pada Stasiun Pemurnian Pabrik Gula Krebet Baru II Malang," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 4, hal. 580–586, 2023.
- [11] A. M. Fadli dan M. Q. Arba'a, "Laporan Kerja Praktik Analisa Uap pada Proses Penguapan Nira Mentah PTPN XI, PG Soedhono, Ngawi," 2022.
- [12] E. Hugot, *Handbook of Cane Sugar Engineering*, 3 ed. Amsterdam, 1986.

- [13] Á. L. Alarcón, A. Orjuela, P. C. Narváez, dan E. C. Camacho, "Thermal and Rheological Properties of Juices and Syrups during Non-centrifugal Sugar Cane (Jaggery) Production," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 121, hal. 76–90, 2020.
- [14] S. N. Aulele, A. Z. Wattimena, dan C. Tahya, "Analisis Regresi Multivariat berdasarkan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Derajat Kesehatan di Maluku," *Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 11, no. 1, hal. 39–48, 2017.
- [15] P. Rein, *Cane Sugar Engineering*. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2007.