

PERHITUNGAN NERACA MASSA PADA STASIUN PENGUAPAN DENGAN KAPASITAS 12500 TCD DI PG KEBON AGUNG

Imelda Marcelina¹, Sandra Santosa¹, Mutia Devi Hidayati¹, Mohammad Faiz Rosidin²

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

²PG Kebon Agung Jl. Raya Kebonagung, Pakisaji 65162, Kabupaten Malang, Indonesia

imeldamarcelina213@gmail.com ; [mutiadevi@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Salah salah satu komoditas perkebunan paling banyak yang ditanam di Indonesia adalah tanaman tebu (*Saccharum officinarum*). PG Kebon Agung merupakan perusahaan di bidang industri gula yang terletak di Kabupaten Malang. Proses pengolahan tebu menjadi gula kristal putih melalui serangkaian tahapan yaitu ekstraksi tebu, pemurnian, penguapan, kristalisasi, dan sentrifugasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai laju aliran input dan output, %brix dan %pol yang masuk dan keluar evaporator dengan tekanan uap bekas 1,7 kg/cm². Metode perhitungan dilakukan menggunakan konsep neraca massa untuk memekatkan nira jernih dari brix 11,5% hingga mencapai sasaran sebesar 60% dengan kapasitas 12500 TCD (*Ton Cane per Day*). Hasil perhitungan pada tekanan uap bekas 1,7 kg/cm² dengan kapasitas 12500 TCD massa yang masuk sama dengan massa yang keluar sebesar 520,8333 ton/jam. massa brix dan pol antara input dan output nilainya sama yaitu brix sebesar 59,8958 ton/jam dan pol sebesar 45,2014 ton/jam. Hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa untuk memekatkan nira jernih dari brix awal sebesar 11,5% hingga mencapai sasaran sebesar 60% pada kapasitas tersebut tidak ada massa yang hilang pada sistem dan sesuai dengan hukum kekal massa.

Kata kunci: *brix, evaporator, neraca massa, penguapan, pol*

ABSTRACT

*One of the most plantation commodities grown in Indonesia is sugarcane (*Saccharum officinarum*). PG Kebon Agung is a company in the sugar industry located in Malang Regency. The process of processing sugar cane into white crystal sugar goes through a series of stages namely cane extraction, purification, evaporation, crystallization, and centrifugation. This study aims to determine the value of input and output flow rates, %brix and %pol entering and leaving the evaporator with a used vapor pressure of 1.7 kg/cm². The calculation method was carried out using the concept of mass balance to concentrate clear juice from 11.5% brix to reach the target of 60% with a capacity of 12500 TCD (*Ton Cane per Day*). The results of the calculation at a used steam pressure of 1.7 kg/cm² with a capacity of 12500 TCD the incoming mass is equal to the outgoing mass of 520.8333 tons/hour. the mass of brix and pol between input and output is the same value, namely brix of 59.8958 tons/hour and pol of 45.2014 tons/hour. The calculation results can be concluded that to concentrate clear juice from the initial brix of 11.5% to reach the target of 60% at that capacity there is no mass loss in the system and in accordance with the law of conservation of mass.*

Keywords: *brix, evaporator, mass balance, evaporation, pol*

1. PENDAHULUAN

Salah salah satu komoditas perkebunan paling banyak yang ditanam di Indonesia adalah tanaman tebu (*Saccharum officinarum*). Batang tebu digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan gula dengan kandungan nira 82,5% dan kandungan sukrosa 8-15% [1].

Corresponding author: Mutia Devi Hidayati

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: mutiadevi@polinema.ac.id



Berdasarkan Kementerian Pertanian (Kementan), produksi gula di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 2,35 juta ton dengan produksi pabrik gula BUMN sebesar 1,06 juta ton dan pabrik gula swasta sebesar 1,29 juta ton. Pada tahun 2022 kebutuhan gula mencapai 6,48 juta ton [2]. Proses pengolahan tebu menjadi gula kristal putih melalui serangkaian tahapan yaitu ekstraksi tebu, pemurnian, penguapan, kristalisasi, dan sentrifugasi [3]. Peningkatan proses produksi gula yang dihasilkan, maka membutuhkan efisiensi alat untuk memastikan proses dapat berjalan secara optimal [4]. Oleh karena itu dibutuhkan perhitungan neraca massa pada proses penguapan. Tujuan dari proses penguapan yaitu untuk mengurangi kadar air dan memekatkan nira jernih dengan kadar brix sekitar 60% [5]. Nira jernih dihasilkan dari proses pemurnian nira pada alat *clarifier* untuk menyaring antara nira jernih dan endapan. Nira jernih masuk ke dalam *evaporator* dan endapan dibawa ke *vacuum filter* untuk dilakukan pengepresan dan penyaringan untuk memperoleh blotong [6].

Proses yang terjadi di dalam evaporator yang disebut evaporasi, proses tersebut mengubah larutan cair secara keseluruhan atau sebagian menjadi uap sehingga hanya menyisakan larutan yang lebih padat atau kental. Alat ini bermanfaat bagi industri karena memungkinkan pengentalan awal cairan sebelum diproses, mengurangi volume cairan, dan mengurangi aktifitas cairan [7]. Proses evaporasi terjadi di dalam nira *evaporator* ketika *steam* keluar masuk di sisi *shell* dan memanasi nira jernih di sisi pipa. Panas dari *steam* akan membuat kandungan air nira teruapkan. Nira kemudian mengental, dan *steam* keluar akan terkondensasi menjadi kondensat [8]. Dalam industri gula biasanya menggunakan jenis *evaporator* vakum yang memanfaatkan pemanasan langsung pada bahan untuk mencapai suhu yang diinginkan. Suhu di dalam vakum menjadi rendah atau kurang dari 1 atm, sehingga bahan tidak rusak secara fisik atau nutrisi [9].

PG Kebon Agung merupakan perusahaan di bidang industri gula yang terletak di Kabupaten Malang. Proses penguapan di pabrik ini menggunakan alat *evaporator* dengan 5 badan atau *quintuple effect evaporator* dengan 1 badan *pre-evaporator*. Tekanan pada evaporator 3, 4, dan 5 dikurangi untuk menurunkan titik didih larutan nira. Teknik vakum ini digunakan karena uap yang masuk ke setiap badan *evaporator* tekanannya berkurang dari *evaporator* 1 ke *evaporator* 2, dan seterusnya karena perpindahan panas [10]. Uap panas dari turbin digunakan sebagai media pemanas untuk badan *evaporator* 1, selanjutnya uap yang dihasilkan dari badan *evaporator* 1 digunakan sebagai media pemanas badan *evaporator* 2 dan seterusnya. Dalam sistem *multiple effect evaporators* (MME) evaporator sebagai penukar panas mentransfer uap (fluida panas) ke nira jernih (fluida dingin) [11].

Penelitian yang dilakukan oleh Ardiansyah (2022) menyatakan bahwa tekanan uap bekas sebagai media pemanas pada proses penguapan berpengaruh terhadap laju aliran nira yang sesuai %brix pada stasiun penguapan. Metode yang digunakan sebagai yaitu menggunakan perhitungan neraca massa dengan *multiple effect evaporator*. Hasil dari analisis perbandingan tekanan uap bekas 0,4 kg/cm² dan 0,6 kg/cm² berpengaruh terhadap nilai %brix dan laju massa umpan nira kental yang dihasilkan tiap badan *evaporator*. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan pada kondisi tekanan uap bekas 0,6 kg/cm² menghasilkan nilai %brix yang lebih besar [12].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai laju aliran *input* dan *output*, %brix dan %pol yang masuk dan keluar *evaporator* dengan tekanan uap bekas 1,7 kg/cm². Perhitungan

dilakukan menggunakan konsep neraca massa untuk memekatkan nira jernih dari brix 11,5% hingga mencapai sasaran sebesar 60% dengan kapasitas 12500 TCD (*Ton Cane per Day*).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan studi literatur dan analisis data. Data yang digunakan berasal dari literatur dan data operasional pabrik gula, dan hasil perhitungan neraca massa. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan acuan pada buku *Handbook of Cane Sugar Engineering* [13].

2.1 Neraca Massa Input

Perhitungan neraca massa *input* sebagai berikut:

$$\text{Nira encer masuk } \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}}\right) = \text{Kapasitas giling } \left(\frac{\text{ton}}{\text{hari}}\right) \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \quad (1)$$

$$\text{Berat brix nira encer} = \text{Kapasitas nira encer } \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}}\right) \times \% \text{brix nira encer} \quad (2)$$

$$\text{Berat pol nira encer} = \text{Kapasitas nira encer } \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}}\right) \times \% \text{pol nira encer} \quad (3)$$

2.2 Neraca Massa Output

$$E = J - S = J \left(1 - \frac{B_j}{B_s}\right) \quad (4)$$

Keterangan:

E = *Evaporated* (Diuapkan)

J = *Juice* (Nira Encer)

S = *Syrup* (Nira Kental)

B_j = %brix *juice* (Nira Encer)

B_s = %brix *syrup* (Nira Kental)

$$\text{Nira kental keluar } \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}}\right) = \text{Nira encer masuk } \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}}\right) - \text{Air yang diuapkan} \quad (5)$$

$$\text{Berat brix nira kental} = \text{Nira kental diperoleh } \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}}\right) \times \% \text{brix nira kental} \quad (6)$$

$$\text{Berat pol nira kental} = \text{Nira kental diperoleh } \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}}\right) \times \% \text{pol nira kental} \quad (7)$$

Perhitungan jumlah air yang diuapkan tiap badan evaporator dimisalkan nilai X

$$\text{Evaporator 1} = X + B1 + B2 + B3 + B4$$

$$\text{Evaporator 2} = X + B2 + B3 + B4$$

$$\text{Evaporator 3} = X + B3 + B4$$

$$\text{Evaporator 4} = X + B4$$

$$\text{Evaporator 5} = X \quad (8)$$

$$\text{Jumlah uap masuk kondensor} = \frac{\text{Air yang diuapkan } \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}}\right) - \text{Total bleeding } \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}}\right)}{5} \quad (9)$$

$$\text{Jumlah kondensat uap nira} = \text{Kecepatan evaporator} - \text{Bleeding uap evaporator} \quad (10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses industri perhitungan neraca massa sangat diperlukan untuk menghitung dan mengetahui jumlah bahan baku yang dibutuhkan dan produk yang dibuat. Tujuan dari proses industri adalah untuk meningkatkan nilai jual dari bahan baku. Dalam proses industri terdapat aliran masuk dan keluar unit proses yang menjadi produk siap pakai atau setengah jadi sebagai bahan baku industri lainnya. Hukum kekekalan massa menyatakan bahwa massa masuk dan keluar dari proses sama, yang berarti bahwa jumlah massa pada suatu keadaan atau proses berada dalam jumlah yang tetap [14]. Hukum neraca massa menurut [15]:

$$Input - Output - Consumption + Generation = Accumulation \quad (11)$$

Keterangan:

- Input* = Aliran masuk sistem
- Output* = Aliran keluar sistem
- Consumption* = Reaktan yang digunakan untuk reaksi kimia
- Generation* = Produk yang terbentuk karena reaksi kimia
- Accumulation* = Berkumpul dalam sistem

Tabel 1. Neraca Massa *Input* di Stasiun Penguapan PG Kebon Agung

Bahan	Total Bahan (ton/jam)	Brix (ton/jam)	Pol (ton/jam)
Nira jernih	520,8333	59,8958	45,2014
Total	520,8333	59,8958	45,2014

Tabel 2. Neraca Massa *Output* di Stasiun Penguapan PG Kebon Agung

Bahan	Total Bahan (ton/jam)	Brix (ton/jam)	Pol (ton/jam)
Nira kental	99,8264	59,8958	45,2014
Uap bleeding 1	132,9702	-	-
Uap bleeding 2	5,6310	-	-
Uap bleeding 3	8,3557	-	-
Uap bleeding 4	16,4810	-	-
Uap ke kondensor	37,1567	-	-
Kondensat uap nira	220,4123	-	-
Total	520,8333	59,8958	45,2014

Stasiun penguapan bertujuan untuk memekatkan nira jernih dengan cara menguapkan air yang terdapat pada nira. Aliran *input* neraca massa pada Tabel 1 berupa nira jernih sebesar 520,8333 ton/jam dari stasiun pemurnian yang masih mengandung air. Pada stasiun penguapan di PG Kebon Agung menggunakan media pemanas uap bekas dari turbin pada suhu 115°C dan tekanan 1,7 kg/cm². Uap bekas tersebut diinputkan pada *pre-evaporator* dan *evaporator 1*. Media pemanas yang digunakan untuk *evaporator II, III, IV, dan V* menggunakan uap panas dari hasil penguapan *evaporator* sebelumnya [12]. Pada stasiun penguapan ini terdapat sistem *bleeding* atau pemakaian uap nira dari *evaporator* yang digunakan sebagai pemanas di *juice heater* maupun pan masakan sebagai pengganti uap bekas. Uap nira dari

badan *pre-evaporator* digunakan untuk masakan *batch* dan pan masakan CVP C. Uap nira dari badan *evaporator* I digunakan untuk pemanas pan masakan CVP D, *heater* PP-1, dan pemanas DCH PP-2. Badan *evaporator* II digunakan untuk pemanas DCH PP-0.

Pada aliran *output* neraca massa dapat dilihat pada Tabel 2 dengan jumlah komponen berupa nira kental sebesar 99,8264 ton/jam, uap *bleeding* 1 sebesar 132,9702 ton/jam, uap *bleeding* sebesar 5,6310 ton/jam, uap *bleeding* 3 sebesar 8,3557 ton/jam, uap *bleeding* 4 sebesar 16,4810 ton/jam, uap ke kondensor sebesar 37,1567 ton/jam, dan kondensat uap nira sebesar 220,4123 ton/jam. Total hasil perhitungan neraca massa pada stasiun penguapan didapatkan massa *input* sama dengan massa *output*.

Hasil perhitungan massa brix dan pol dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, dimana massa *input* dan *output* nilainya sama yaitu brix sebesar 59,8958 ton/jam dan pol sebesar 45,2014 ton/jam. %pol adalah kandungan gula yang terlarut dalam 100 gram larutan atau kadar sukrosa dalam nira. %pol adalah kandungan gula yang terlarut dalam 100 gram larutan atau kadar sukrosa dalam nira. %brix adalah gram zat padat yang larut dalam 100 gram larutan yang menunjukkan jumlah padatan gula dan kotoran bukan gula. Semakin tinggi nilai brix dari nira tebu, maka semakin tinggi pula kadar gula dari nira tersebut [16].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan konsep neraca massa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada tekanan uap bekas 1,7 kg/cm² dengan kapasitas 12500 TCD massa yang masuk sama dengan massa yang keluar sebesar 520,8333 ton/jam. Hasil perhitungan massa brix dan pol antara *input* dan *output* nilainya sama yaitu brix sebesar 59,8958 ton/jam dan pol sebesar 45,2014 ton/jam. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk memekatkan nira jernih dari brix awal sebesar 11,5% hingga mencapai sasaran sebesar 60% pada kapasitas tersebut tidak ada massa yang hilang pada sistem dan sesuai dengan hukum kekal massa.

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu dilakukan perhitungan dengan kapasitas dan tekanan uap bekas yang berbeda untuk membandingkan perhitungan neraca massa, sehingga dapat menyimpulkan efisiensi dari alat *evaporator* tersebut.

REFERENSI

- [1] S. S. Yuwono dan E. Waziroh, "Teknologi Pengolahan Pangan Hasil Perkebunan," Malang: Universitas Brawijaya Press, 2017.
- [2] F. A. Afandi, "Analisis Kebijakan Agribisnis Gula di Indonesia," *Jurnal Pangan*, vol. 33, no. 1, hal. 81–88, 2024.
- [3] M. R. Rabbani dan A. Mansur, "Design of Production System Improvement to Increase Productivity with Quality Control Circle Approach," *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, vol. 8, no. 1, hal. 1–10, 2024.
- [4] D. C. Apriawan, I. Irham, dan J. H. Mulyo, "Analisis Produksi Tebu dan Gula Di PT Perkebunan Nusantara VII (Persero)," *Agro Ekonomi*, vol. 26, no. 2, hal. 159–167, 2015.
- [5] R. Wulandari dan L. H. Saputri, "Evaluasi Kinerja Stasiun Penguapan Ditinjau dari Efisiensi Penggunaan Uap di PT PG Rajawali II, Unit PG. Sindang Laut Cirebon," *Jurnal Pengelolaan Perkebunan*, vol. 2, no. 2, hal. 73–80, 2021.

- [6] S. O. Ningrum, "Analysis Quality of Water River and Quality of Well Water in The Surrounding of Rejo Agung Baru Sugar Factory Madiun," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 10, no. 1, hal. 1–12, 2018.
- [7] J. Andalangi dan I. F. Pangkerego, "Uji Teknis Modifikasi Evaporator Pada Pembuatan Gula Aren," *Cocos*, vol. 10, no. 3, hal. 1–9, 2018.
- [8] A. U. Hafidza, M. Meiliana, M. F. Nugroho, dan R. Daniar, "Analisis Efisiensi Termal Evaporator Vakum pada Proses Pemekatan Nira Tebu," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 7, no. 3, hal. 31665–31670, 2023.
- [9] A. Syakdani dan I. Purnamasari, "Prototipe Alat Evaporator Vakum (Efektivitas Temperatur Dan Waktu Evaporasi Terhadap Tekanan Vakum Dan Laju Evaporasi Pada Pembuatan Sirup Buah Mengkudu (Morinda Citrifolia L.)), " *Jurnal Kinetika*, vol. 10, no. 02, hal. 29–35, 2019.
- [10] R. W. Triaji, E. S. Y. Yusmartini, dan M. Mardwita, "Analysis of Heat Transfer on the Effect from Mineral Crust in Evaporator Semi-Kestner Quintuple Effect," *AJARCDE (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment)*, vol. 6, no. 3, hal. 80–84, 2022.
- [11] S. M. Bapat, V. S. Majali, dan G. Ravindranath, "Exergy and sustainability analysis of quintuple effect evaporation unit in a sugar industry - a case study," *International Journal of Renewable Energy Technology*, vol. 7, no. 1, hal. 46–68, 2016.
- [12] M. I. Ardiansyah, A. S. Wijaya, D. R. Wulan, A. Suwito, dan P. X. P. Kedawoeng, "Analisis Pengaruh Tekanan Uap Bekas Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Sistem Evaporator 5 Efek Pada PG Kedawoeng," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 1, hal. 185–195, 2022.
- [13] E. Hugot, "Handbook of Cane Sugar Engineering," 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Science, 1986.
- [14] H.R. Yuliani, "Neraca Massa dan Neraca Panas," Yogyakarta: Deepublish, 2019.
- [15] O. A. Hougen dan K. M. Watson, "Chemical Process Principles Part 1: Material and Energy Balances," 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1943.
- [16] A. Kusumawati dan A. Ardiansyah, "Dampak Varietas Yang Berbeda Terhadap Hasil Gula Semut Berbahan Nira Tebu," *Jurnal Pertanian Agroteknologi*, vol. 11, no. 2, hal. 93–98, 2023.