

## Performance evaluation of evaporation station based on steam efficiency used at PT. PG Rajawali II, PG. Sindang Laut, Cirebon

Rika Wulandari <sup>a,1</sup>, Lestari Hetalesi Saputri <sup>b,2,\*</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Kimia, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND, Yogyakarta 55222;

<sup>b</sup>Program Studi Teknik Kimia, Politeknik LPP, Yogyakarta 55222;

<sup>1</sup> [rikawulan853@gmail.com](mailto:rikawulan853@gmail.com); <sup>2,\*</sup> [eta@polteklpp.ac.id](mailto:eta@polteklpp.ac.id);

\*Correspondent Author

### KATAKUNCI

Stasiun penguapan  
Larutan gula (sukrosa)  
Penurunan suhu  
*Bleeding*  
*Quadruple effect*

### ABSTRAK

Stasiun penguapan memiliki peran penting dalam Pabrik Gula. Stasiun ini bertujuan untuk menaikkan konsentrasi larutan gula hingga mencapai titik jenuhnya ( $\pm 60\%$  Brix), sehingga proses pembentukan kristal gula di stasiun masakan menjadi lebih mudah. Namun stasiun penguapan juga memberikan kontribusi terhadap inversi sukrosa tertinggi dibandingkan stasiun lainnya. Larutan gula (sukrosa) tidak tahan terhadap suhu tinggi, jangka waktu lama, dan pH rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi pada stasiun penguapan. Untuk mengurangi risiko inversi sukrosa di stasiun penguapan, larutan gula dipanaskan dalam bejana bertekanan (vakum). Kondisi vakum dapat menurunkan titik didih nira. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja stasiun penguapan berdasarkan *total temperature drop* ( $\Sigma\Delta T$ ). Penurunan suhu dipengaruhi oleh distribusi tekanan dan suhu dalam penguapan, serta kecepatan penguapan. Nilai parameter kemudian dibandingkan dengan literatur. Standar nilai  $\Sigma\Delta T$  adalah 40, sedangkan untuk kecepatan penguapan untuk sistem *quadruple effect* dengan sistem *bleeding* adalah 26 kg/(m<sup>2</sup>.jam). Hasil evaluasi menunjukkan nilai  $\Sigma\Delta T$  tertinggi sebesar 40,96 dan kecepatan penguapan sebesar 24,5 kg/(m<sup>2</sup>.jam), sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi operasional stasiun penguapan di PG. Sindang Laut Cirebon cukup baik. Sistem penguapan cukup efisien. Namun, tingkat kecepatan penguapan masih dikategorikan tidak efisien.

### **Performance evaluation of evaporation station based on steam efficiency used at PT. PG Rajawali II, PG. Sindang Laut, Cirebon**

*The evaporation station has an important role in the sugar factory. This station aims to increase the concentration of the sugar solution until it reaches its saturation point ( $\pm 60\%$  Brix), so that the process of forming sugar crystals at the cooking station becomes easier. However, the evaporation station also contributes to the highest sucrose inversion compared to other stations. Sugar solution (sucrose) is resistant to high temperatures, long periods of time, and low pH. Therefore, it is necessary to evaluate the evaporation station. To reduce the risk of sucrose inversion in the evaporation station, the sugar solution is heated in a pressure vessel (vacuum). Vacuum conditions can lower the boiling point of juice. This research aims to evaluate the performance of the evaporation station based on total temperature drop ( $\Sigma\Delta T$ ). The temperature drop is influenced by the distribution of pressure and temperature in evaporation, as well as the evaporation rate. The values of the parameters are compared with the literatures. The standard for*

### KEYWORDS

Evaporation station  
Sugar solution (sucrose)  
Temperature drop  
*Bleeding*  
*Quadruple Effect*

the value of  $\Sigma\Delta T$  is 40, while the standard evaporation rate for the quadruple effect evaporation system with bleeding is 26 kg/(m<sup>2</sup>.hour). The result of the evaluation show that the highest  $\Sigma\Delta T$  value is 40,96 and the evaporation rate is 24,5 kg/(m<sup>2</sup>.hour), so it can be concluded that the operational condition of the evaporation station at PG. Sindang Laut Cirebon is quite good. The evaporation system is also quite efficient. However, the evaporation rate is still categorized as inefficient.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) license.



## Pendahuluan

Stasiun penguapan di Pabrik Gula (PG) memiliki tujuan utama yaitu untuk menguapkan sebagian besar air yang terkandung di dalam bahan. Salah satu upaya untuk memaksimalkan tujuan tersebut adalah dengan mengevaluasi kinerja stasiun penguapan melalui parameter-parameter yang ada. Salah satu parameter yang dievaluasi adalah pendistribusian suhu dan tekanan pada badan penguapan, serta angka penguapan. Analisis penelitian ini dilakukan pada kondisi *bleeding* dan dibuktikan dengan kondisi bahan keluar dari bahan penguap.

Di Pabrik Gula (PG), alat yang umumnya digunakan pada stasiun penguapan ialah *evaporator*. *Evaporator* digunakan untuk menguapkan air yang terkandung pada nira encer menjadi nira kental yang siap untuk dikristalisasi. Salah satu jenis *evaporator* yang sering digunakan di PG ialah *evaporator* dengan sistem *quadruple effect*. *Evaporator* ini terdiri dari 4 badan penguapan (4 *vessel*) yang dipasang secara seri. Target dari stasiun penguapan di PG ialah menguapkan air sebanyak  $\pm 70\%$  hingga brix nira kental yang dicapai bisa mendekati  $\pm 60^\circ$  brix. Nilai brix dapat mengindikasikan tingkat kepekatan nira karena nilai ini mewakili berat zat padat terlarut, baik gula maupun non gula, yang terkandung dalam 100 gram nira [1].

*Evaporator* dengan sistem *quadruple effect* mampu meningkatkan konsentrasi nira (dalam hal ini *brix*) dari kadar 14% hingga 68%. Sebagaimana alat penguapan lainnya, pada alat ini akan terjadi perpindahan panas dan perpindahan massa secara simultan. Ini artinya bahwa pelarut (termasuk air) akan teruap sebagian hingga diperoleh produk yang kental/konsentrat [2]. Sistem *multiple effect*, termasuk juga *quadruple effect*, dapat menciptakan perbedaan suhu antara *steam* pemanas yang digunakan dengan nira yang dipanaskan. Adanya perbedaan *temperature (temperature drop)* dapat memberikan keuntungan yaitu berupa uap air dari nira yang dihasilkan, yang kemudian dikenal dengan uap nira, yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan nira pada badan penguapan selanjutnya dengan sistem seri [3].

Namun demikian, alat ini membutuhkan sejumlah energi dalam menguapkan air dari nira. Konsumsi energi di stasiun penguapan adalah indikator penting yang menunjukkan kinerja dan efisiensi pabrik gula, salah satunya adalah penurunan tekanan yang tinggi pada saluran masuk uap dan saluran uap keluar pada *evaporator* pertama sehingga menurunkan efisiensi Pabrik Gula, dengan adanya *losses* uap [4]. Pada *quadruple effect evaporator*, kebutuhan *exhaust steam* dalam jumlah yang cukup banyak berasal dari turbin uap. Sistem *evaporator* jenis ini dipilih karena memiliki kelebihan yaitu dalam hal penghematan energi. Apalagi dengan adanya uap yang dapat dibangkitkan dari badan *evaporator* akhir (*evaporator* ke 4) menuju ke kondensor [5]. Jadi pada dasarnya, sistem *quadruple effect* mampu memanfaatkan panas laten uap sekunder dari hasil penguapan larutan untuk tujuan penghematan energi [6]. Dengan jumlah badan penguapan (*evaporator*) yang berjumlah 4, konsumsi energi dapat dikurangi karena uap yang dihasilkan dari badan *evaporator* pertama digunakan oleh badan *evaporator* kedua, uap hasil dari badan *evaporator* kedua digunakan untuk badan *evaporator*

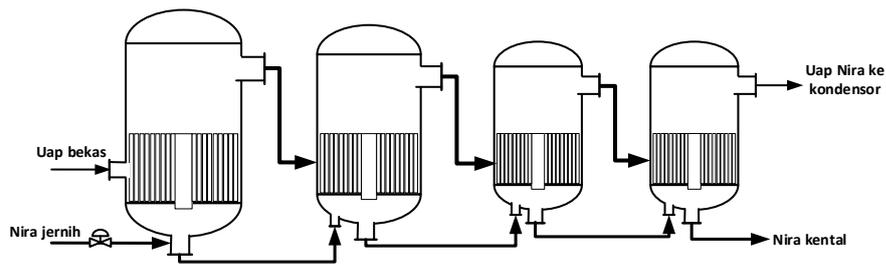
ketiga dan seterusnya. Sementara uap dari badan evaporator terakhir dapat digunakan di stasiun pemurnian maupun stasiun masakan. Penghematan terjadi karena sumber energi panas utama dari luar (turbin) yang dibutuhkan pada stasiun penguapan hanya digunakan oleh badan evaporator pertama [7].

Industri gula termasuk ke dalam kategori industri makanan. Pada prosesnya, bahan yang diolah juga bersifat sensitif terhadap panas, sama halnya seperti pada industri makanan lainnya. Suhu tinggi pada penguapan akan memperbanyak gula *invert* [8] dan hal tersebut merugikan bagi Pabrik Gula. Sukrosa atau calon gula kristal mudah terhidrolisis menjadi gula *invert* yaitu fruktosa dan glukosa pada suhu yang tinggi [9]. Oleh karena itu, untuk menjaga kualitas rasa dan kandungan sukrosa pada nira agar tidak rusak, maka proses penguapan di PG dilakukan di bawah suhu dan tekanan rendah. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menekan inversi yaitu dengan menerapkan sistem *multiple effect* di stasiun penguapan [10]. Sistem ini membuat proses pemanasan beroperasi pada sistem vakum. Dengan menurunkan tekanan dalam badan penguapan, maka dapat menekan suhu operasi menjadi tidak tinggi, sehingga inversi gula dapat lebih mudah diatasi. Hal tersebut juga sama diungkapkan oleh [6] bahwa pengaturan kondisi operasi pada suhu dan tekanan rendah yaitu dengan menggunakan tiga atau empat badan penguapan. Pada umumnya, dengan sistem *multiple effect* khususnya *quadruple effect*, untuk menguapkan 1 kg air pada nira dibutuhkan sekitar 1 kg uap. Uap yang dihasilkan pada badan evaporator terakhir yang telah melewati kondensor, dapat digunakan untuk membuat kondisi vakum [11]. Kondisi vakum diperlukan dalam proses pengolahan gula agar dapat meminimalisir kehilangan gula akibat inversi karena suhu tinggi. Selain itu, sistem vakum akan memberikan keuntungan dari segi keamanan proses karena resiko terhadap peralatan juga lebih rendah.

Sementara itu, sisa uap dari evaporator akhir dikondensasikan pula oleh kondensor pada tekanan rendah [10] untuk menghasilkan air kondensat yang dapat dipergunakan kembali sebagai air imbibisi dan air proses. Air kondensat yang dihasilkan merupakan air murni sehingga sangat baik untuk proses pemerahan nira di stasiun gilingan. Selain menghasilkan air kondensat, stasiun penguapan juga menghasilkan uap yang nantinya dipergunakan untuk media pemanas pada alat pemanas lain yang dikenal dengan sistem *bleeding*. Hasil simulasi dari Chantasriwan (2017) [13] menyimpulkan bahwa kebutuhan uap akan minimum apabila dilakukan sistem *bleeding*. Jadi, sistem *bleeding* akan cukup menguntungkan bila diterapkan di pabrik gula, karena dapat meminimalkan penggunaan uap dari boiler. Uap dari *quadruple effect evaporator* dengan sistem *bleeding* dapat diarahkan untuk kebutuhan lain di beberapa stasiun, sehingga dapat menekan kehilangan energi [3]. Sistem *bleeding* di pabrik gula dapat mengurangi konsumsi energi sebanyak 23% dibandingkan dengan tanpa *bleeding* [7]. Oleh karena peran stasiun penguapan sangat penting, maka sudah semestinya bahwa efisiensi penggunaan uap perlu diperhatikan. Pengoptimalan penggunaan uap dapat ditinjau dari nilai total *temperatur drop* ( $\Sigma\Delta T$ ) dan angka penguapan. Total *temperature drop* adalah jumlah perbedaan suhu antara suhu pemanas dengan suhu nira, sementara angka penguapan adalah angka yang menunjukkan banyaknya air yang teruapkan pada stasiun penguapan. Semakin banyak air yang teruapkan, maka kinerja stasiun penguapan semakin baik.

## Metode

Data yang dijadikan sebagai parameter untuk menunjukkan kinerja evaporator di PT PG Rajawali II, Unit PG Sindang Laut Cirebon bersumber dari data sekunder yang diambil dari *logbook* bahan dan operasi evaporator pada beberapa hari di bulan Juli 2017. Data-data yang dipergunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Berikut gambar 1 skema alat penguapan beserta data-data yang diambil:



**Gambar 1.** Skema alat penguapan *quadruple effect*

**Tabel 1.** Parameter kinerja evaporator ditinjau dari data bahan

Hari ke-	Bahan		
	Imbibisi (ku)	Nira kental (%brix)	Air teruapkan (ton)
I	669	60,41	1357,76
II	690	60,85	1453,02
III	708	56,01	1490,02
IV	628	61,59	1462,81

**Tabel 2.** Data distribusi vakum dan suhu evaporator di PG Sindang Laut pada Juli 2017

Jenis uap	Luas pemanas (m <sup>2</sup> )	Kondisi operasi pada hari ke-							
		Tekanan (P, kg/cm <sup>2</sup> )				Suhu (T, °C)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
Uap bekas		1,58	1,55	1,58	1,57	112,3	111,8	111,8	112,5
Uap nira I	1100	1,19	1,17	1,19	1,18	104	103,5	104	104
Uap nira II	900	0,83	0,82	0,83	0,83	94	93,65	94	94
Uap nira III	900	0,51	0,50	0,51	0,51	81,35	81	81,35	81,35
Uap nira IV	700	0,16	0,16	0,16	0,16	55	55	55	55

Data-data kondisi operasi di atas digunakan untuk menghitung nilai  $\Sigma\Delta T$  dan Angka Penguapan (AP). Rumus perhitungan mengikuti Toat (2009), antara lain:

a) Menghitung  $\Delta T$  dan AP:

$$P_1 = P_{Ube} - \frac{\text{nilai distribusi} - \text{jumlah penurunan tekanan}}{40} \quad (1)$$

Keterangan:

$P_{Ube}$  = tekanan uap bekas

$P_1$  = tekanan pada badan penguapan I

b) Mencari koefisien penguapan spesifik:

$$\Delta P = \text{Koefisien Spesifik (c)} \times \Delta T \quad (2)$$

c) Menghitung Jumlah air yang diuapkan:

$$G_{nj} = \frac{\text{kapasitas giling} \times 1000 \times \text{NM} \% \text{tebu}}{24 \times 100} \quad (3)$$

$$G_{un} = G_{un} \times 1 - \frac{bnj}{bnk} \quad (4)$$

Keterangan:

$G_{nj}$  = berat nira jernih yang dipanaskan

$G_{un}$  = banyaknya air yang diuapkan atau uap nira

$bnj$  = berat nira jernih

$bnk$  = berat nira kental

d) Menghitung banyaknya uap nira I yang dibleeding ke PP I (Panas Penguapan I)

$$G_{mp} = \frac{\text{bobot nira} \left(\frac{kg}{jam}\right) \times \text{panas jenis nira} \left(\frac{kcal}{kg}\right) \times (t_2 - t_1)}{\text{Panas laten media pemanas} \frac{kcal}{kg}} \quad (5)$$

\* Perhitungan badan penguapan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama.

Setelah angka-angka tersebut didapatkan, lalu dihitung nilai rata-ratanya dan dianalisis koefisien proses penguapan dengan membandingkan berdasarkan literatur yang ada. Data dianalisis pada keadaan menggunakan sistem *bleeding* sesuai dengan data real hasil penguapan yang dilakukan di PG Sindang Laut, sehingga diharapkan akan dapat memberikan gambaran mengenai sistem *bleeding* di PG setempat dalam penghematan penggunaan uapnya. Kinerja stasiun penguapan pada penelitian ini ditinjau dari nilai total *temperature drop* dan angka penguapan. Sistem penguapan dikatakan efisien jika angka  $\Sigma\Delta T \geq 40$  dan Angka Penguapannya  $\geq 25$  kg/(m<sup>2</sup>.jam). Hasil analisis ini kemudian dibandingkan dengan parameter bahan hasil keluaran stasiun penguapan.

## Hasil dan Pembahasan

Efisiensi energi sebagai bentuk evaluasi proses penguapan di stasiun Penguapan PT.PG Rajawali II Unit PG Sindang Laut didasarkan pada dua parameter, yaitu *total Temperatur drop* serta Angka Penguapan. *Total temperatur drop* atau perbedaan temperatur antara suhu *steam* pemanas dan suhu nira yang dipanaskan merepresentasikan besarnya energi yang telah terserap ke nira dalam proses penguapan. Semakin besar perbedaan temperatur tersebut maka uap nira yang dihasilkan semakin banyak sehingga tentunya dapat menghemat energi. Perbedaan temperatur ini juga mengakibatkan banyaknya air yang diuapkan yang ditunjukkan dengan nilai Angka Penguapan. Hasil perhitungan *total temperature drop* dan angka penguapan disajikan pada [Tabel 3](#). Hasil penguapan ini nantinya sejalan dengan parameter keluaran stasiun penguapan yang ditunjukkan pada [Gambar 3](#).

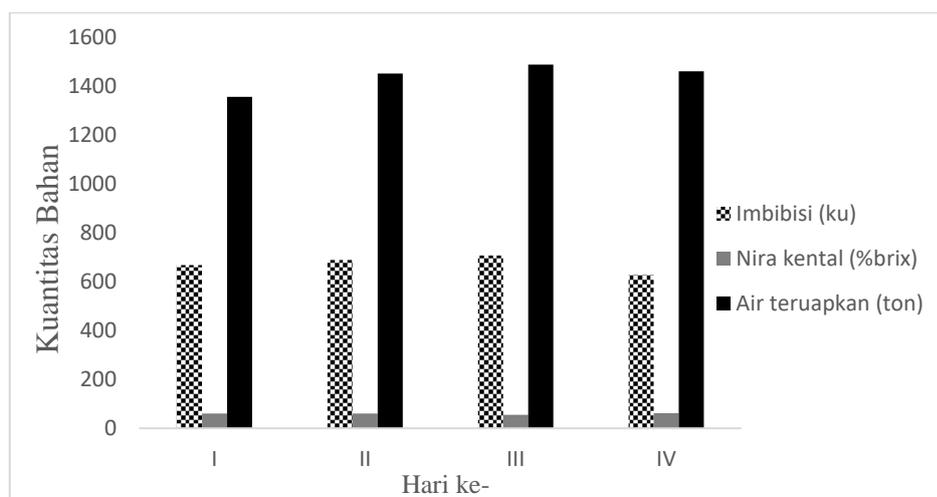
**Tabel 3.** Total *temperature drop* dan angka penguapan dengan *bleeding*

<i>Hari ke-</i>	$\Sigma\Delta T(^{\circ}C)$	<i>AP (kg/(m<sup>2</sup>.jam)</i>
I	41,09	24,66
II	40,8	24,25
III	40,59	24,42
IV	41,36	24,67
Rata-rata	40,96	24,5

Berdasarkan [Tabel 3](#), dapat diambil kesimpulan bahwa kinerja stasiun penguapan ditinjau dengan angka  $\Sigma\Delta T$  di PG Sindang Laut sudah efisien. Hal tersebut merujuk dengan nilai  $\Sigma\Delta T$  yang telah melewati angka 40 [14]. Dengan nilai tersebut, maka proses penguapan air dari nira semakin baik. Semakin banyak air yang teruapkan, maka viskositas nira menjadi tinggi (nira semakin kental) dan otomatis tinggi cairan nira di dalam evaporator juga semakin menurun. Hal ini sebagaimana yang disampaikan oleh Thaval et al (2019) [15] bahwa peningkatan perbedaan temperatur dan penurunan ketinggian cairan nira di dalam badan penguapan mengindikasikan bahwa fluks panas lebih tinggi. Ini berarti pula bahwa uap nira yang dihasilkan selama proses penguapan menjadi lebih banyak. Aliran uap nira yang dibangkitkan selama evaporasi tergantung pada perbedaan temperatur antara suhu nira dan suhu bahan pemanas [16]. Ismiyati & Sari (2020) [2] juga menambahkan bahwa terpisahnya uap cairan menjadi uap pemanas terjadi pada suhu yang sama dengan titik didih cairan. Perbedaan temperatur pada proses penguapan (ketika terjadinya peningkatan viskositas) ialah perbedaan antara uap pemanas dengan titik didih nira, bukan antara temperatur uap pemanas dengan temperatur saturasi uap [17]. Nilai ini menunjukkan kinerja proses penguapan secara tidak langsung dengan parameter yang dapat terukur jelas yaitu dari nilai viskositas nira yang dihasilkan. Kinerja proses penguapan yang baik, dapat meningkatkan viskositas hingga 70% [18].

Pada [Tabel 3](#) juga dapat membuktikan bahwa air yang teruapkan cenderung akan lebih

banyak ketika *temperature drop* tinggi. AP tertinggi yang dicapai pada bulan Juli tersebut yaitu pada hari ke 4 dengan nilai 24,67 kg/(m<sup>2</sup>.jam), dengan *temperature drop* tertinggi 41,36 °C. Ini menunjukkan bahwa ada korelasi antara  $\Delta T$  dan Angka Penguapan (AP). Meskipun demikian, angka penguapan yang dicapai pada bulan tersebut belum efisien. Menurut Hugot (1986) [19], kinerja stasiun penguapan dikatakan efisien jika AP dengan penerapan sistem *bleeding* yaitu 26 kg/m<sup>2</sup>/jam. Dari hasil pengamatan dan perhitungan, didapatkan angka AP masih di bawah standar, sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja penguapan di PG Sindang Laut masih kurang baik terutama pada bulan Juli tersebut. Padahal seharusnya melalui sistem ini, uap *bleed* yang dihasilkan bisa optimal dan bisa digunakan lebih maksimal untuk proses penguapan di PG Sindang Laut. Penggunaan uap *bleed* untuk penguapan akan dapat meningkatkan efisiensi energi pada proses penguapan [12].



**Gambar 3.** Kuantitas bahan keluaran sebagai parameter kinerja stasiun penguapan

Bila ditinjau dari rata-rata air teruapkan pada seluruh badan penguapan di PG Sindang laut, nilai *real* di lapangan tidak sesuai dengan nilai teoritisnya (AP). Dengan jumlah *temperature drop* pada setiap harinya, seharusnya pada hari ke-4 dihasilkan uap air terbanyak sesuai dengan nilai  $\Delta T$  pada hari tersebut. Namun air yang teruapkan hanya mencapai 1462,81ton dibandingkan pada hari ke-3 dengan nilai  $\Delta T$  terendah. Terjadinya penyimpangan hasil ini kemungkinan karena faktor lain dari dalam badan alat, atau bisa juga karena *losses* air yang teruapkan yang kemungkinan dapat pula diakibatkan karena kebocoran pipa, sehingga efisiensi energi menjadi berkurang [20].

Jumlah air teruapkan dari stasiun penguapan tersebut juga sebanding dengan jumlah air imbibisi yang dihasilkan, yang air ini sepenuhnya berasal dari rangkaian proses penguapan di evaporator. Pada hari ke-4, air imbibisi lebih sedikit daripada hari ke-3. Beda pula halnya dengan brix nira kental yang nilainya lebih tinggi di hari ke-4. Nilai brix ini telah sesuai dengan hasil yang seharusnya, karena air yang telah teruapkan cukup banyak, maka brix juga akan semakin tinggi, meski brix tidak bisa sepenuhnya mewakili nilai viskositas dari nira kental yang dihasilkan. Brix merupakan semua zat padatan terlarut pada nira. Bila proses pemurnian pada stasiun sebelumnya memiliki kinerja yang kurang baik, maka zat terlarut bukan gula dapat mempengaruhi nilai viskositas nira yang sebenarnya. Banyaknya zat terlarut dapat mempengaruhi efek tekanan uap pada badan evaporator, sehingga laju penguapan menjadi terganggu [21].

Hasil nira kental dari badan penguapan PG Sindang Laut telah cukup baik bila ditinjau dari total *temperature drop*-nya. Ini sesuai juga dengan penelitian dari Sukoyo et al (2014) [8] yang menyatakan bahwa perbedaan suhu yang besar berpengaruh pada viskositas produk hasil penguapan. Namun ada beberapa nilai, selain jumlah air teruapkan, yang juga menunjukkan

hasil yang tidak signifikan yaitu seperti pada nilai  $\Sigma\Delta T$  dan AP. Hal tersebut bisa dikarenakan kebersihan badan penguap tidak maksimal, sehingga menyebabkan kerak di penguapan dan menghambat proses transfer panas. Selain kebersihan faktor pemanas, faktor-faktor lain yang juga mempengaruhi, seperti luas bidang pemanas, tekanan uap bekas yang dipergunakan, serta pengeluaran gas-gas tak terembunkan pada badan penguap. Proses transfer panas akan maksimal bila uap dapat terdistribusi dengan optimal pada seluruh luas bidang pemanas [12], tekanan uap bekas yang digunakan cukup tinggi sehingga dapat menurunkan titik didih nira, dan pengeluaran gas-gas yang tak terembunkan berjalan lancar sehingga tidak mengganggu aliran air di kondensor barometik yang merupakan penyebab vakum pada evaporator.

*Pressure drop* dan pelepasan kalor ke lingkungan memang sulit untuk dicegah, namun dapat dikurangi dampaknya pada sistem evaporasi, asalkan penghambat transfer panas misalnya kerak yang terbentuk pada evaporator tidak banyak atau bahkan tidak ada. Kerak di dinding evaporator dapat dihasilkan dari reaksi fosfat dan air yang membawa silika. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyekrapan secara rutin pada evaporator di PG [1]. Bila tidak, maka untuk menjaga proses penguapan agar tetap normal, maka diperlukan *steam* bekas yang lebih banyak, terutama untuk badan penguapan pertama. *Steam* pada badan penguapan pertama sangat menentukan keseimbangan energi secara keseluruhan di stasiun penguapan. Sementara banyaknya uap yang dihasilkan pada setiap evaporator bergantung pada tingkat kebersihan evaporator dari kerak maupun korosi. Selain itu, evaporator yang kondisinya bersih juga dapat menghasilkan konsentrasi nira kental yang tinggi [22].

## Simpulan

Efisiensi stasiun penguapan di PT. PG Rajawali II Unit Sindang Laut dilihat dari  $\Sigma\Delta T$  sudah cukup baik yakni sebesar  $40,96^{\circ}\text{C}$ , namun berbeda dengan nilai angka penguapannya yang belum memenuhi standar karena masih di bawah  $26 \text{ kg}/(\text{m}^2.\text{jam})$ . Oleh karena itu, proses perawatan dan pembersihan alat yang rutin dan berkualitas perlu ditingkatkan agar efisiensi proses secara keseluruhan dapat ditingkatkan. Efisiensi dapat ditinjau dari input dan output uap pada setiap badan penguapan. Semakin efisien penggunaan uap, maka penilaian kinerja stasiun penguapan menjadi tinggi dan upaya penghematan energi yang diharapkan dapat berjalan maksimal.

## Daftar Pustaka

- [1] N. D. Sartika, "Audit Kinerja Proses Pengolahan Pada Pabrik Gula," *Inasea*, vol. 6, no. 2, pp. 134–142, 2005, [Google Scholar](#).
- [2] Ismiyati and F. Sari, "Identifikasi Kenaikan Titik Didih pada Proses Evaporasi Terhadap Konsentrasi Larutan Sari Jahe," *Konversi*, vol. 9, no. 2, pp. 33–39, 2020, [Google Scholar](#).
- [3] A. Deshmukh, A. Datir, and P. More, "Design & Analysis of Robert Type Multi-effect Evaporator for Sugar Industry," vol. 6, no. 4, pp. 96–103, 2019, <http://www.jetir.org/papers/JETIRBB06024.pdf>.
- [4] C. Phoosodsoong and S. Thongsan, "The Exergetic Performance Evaluation of the Quintuple Effect Evaporator in Raw Sugar Production Processes," vol. 15, no. 02, pp. 39–48, 2020, [Google Scholar](#).
- [5] B. W. Hackett, "The essentials of continuous evaporation," *Chem. Eng. Prog.*, vol. 114, no. 5, pp. 24–28, 2018, [Google Scholar](#).
- [6] Q. Ruan, H. Jiang, M. Nian, and Z. Yan, "Mathematical modeling and simulation of countercurrent multiple effect evaporation for fruit juice concentration," *J. Food Eng.*, vol. 146, pp. 243–251, 2015, <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.015>.
- [7] P. Sharan and S. Bandyopadhyay, "Integration of Multiple Effect Evaporators with

- Background Process,” vol. 45, no. 2013, pp. 1591–1596, 2015, <http://doi.org/10.3303/CET1545266>.
- [8] A. Sukoyo, B. D. Argo, and R. Yulianingsih, “Analisis Pengaruh Suhu Pengolahan dan Derajat Brix terhadap Karakteristik Fisikokimia dan Sensoris Gula Kelapa Cair dengan Metode Pengolahan Vakum Analysis of Processing Temperature and Brix Degree Effect to the Phisico- Chemistry and Sensory characterist,” vol. 2, no. 2, pp. 170–179, 2014, [Google Scholar](#).
- [9] D. Nursafuan and D. Supriyatdi, “Pembuatan Gula Aren Cair dengan Pengaturan Kapur dan Suhu Evaporasi (Development of Liquid Palm Sugar with Lime and Evaporation Temperature Settings),” *J. Agro Ind. Perkeb.*, vol. 4, no. 2, pp. 79–87, 2016, <https://doi.org/10.25181/aip.v4i2.49>.
- [10] S. Chantasiriwan, “Increased Energy Efficiency of a Backward-Feed Multiple-Effect Evaporator Compared with a Forward-Feed Multiple-Effect Evaporator in the,” vol. 8, no. 3, pp. 1–14, 2020, <https://doi.org/10.3390/pr8030342>.
- [11] T. D. B. Bhai *et al.*, “To Increase the Efficiency of Evaporator using Various Techniques,” *Int. J. Res. Publ. Rev.*, vol. 3, no. 2, pp. 293–297, 2021, [Google Scholar](#).
- [12] S. Chantasiriwan, “Optimum surface area distribution of quadruple-effect evaporator in sugar juice evaporation process,” *Chem. Eng. Commun.*, vol. 204, no. 12, pp. 1466–1473, 2017, <http://doi.org/10.1080/00986445.2017.1367674>.
- [13] S. Chantasiriwan, “Investigation of Performance Improvement of the Evaporation Process in Raw Sugar Manufacturing by Increasing Heat Transfer Surfaces,” *Chem. Eng. Commun.*, vol. 204, no. 5, pp. 599–606, 2017, <http://10.1080/00986445.2017.1292260>.
- [14] S. Toat, *Pengantar Injineriing Pabrik Gula*. Surabaya: Maskibbu dan Bintang Surabaya, 2009, [Google Scholar](#).
- [15] O. Thaval, R. Broadfoot, G. Kent, and D. . Rackemann, “Investigating The Effects of Tube Dimensions and Operating Conditions on The Heat-Transfer Coefficient of Rising-Film Evaporators,” in *International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) Congress 2019*, 2019, vol. 30, no. 1, pp. 41–57, [Google Scholar](#).
- [16] R. M. Soares, M. M. Câmara, T. Feital, and J. C. Pinto, “Digital Twin for Monitoring of Industrial Multi-Effect Evaporation,” *Processes*, vol. 7, no. 8, p. 537, 2019, <http://doi.org/10.3390/pr7080537>.
- [17] E. A. Storia and Prabowo, “Pengaruh Brix Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Pada Evaporator Robert Sistem Quintuple Effect di PG. Gempolkrep,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2016, <http://doi.org/10.12962/j23373539.v5i1.15053>.
- [18] S. Chantasiriwan, “Distribution of heating surface areas in sugar juice evaporation process for maximum energy efficiency,” no. January, pp. 1–6, 2019, <http://doi.org/10.1111/jfpe.12998>.
- [19] E. Hugot, *Handbook of Cane Sugar Engineering*, 7th ed., vol. 7. Netherlands: Elsevier, 1986, [https://doi.org/10.1016/0144-4565\(86\)90047-8](https://doi.org/10.1016/0144-4565(86)90047-8).
- [20] A. Setyawan and N. M. Sujati, “Evaluasi Hasil Analisis Efisiensi Kinerja Sistem Evaporator Iplr Tahun 2014-2017,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV-2017*, 2017, pp. 255–260, [Google Scholar](#).
- [21] P. Roche, R. C. Jones, B. Glennon, and P. Donnellan, “Development of A Continous Evaporation System for an API Solution Stream Prior to Crystallization,” *AICHE J*, 2021, <https://doi.org/10.1002/aic.17377>.
- [22] J. Hanuranto, P. Teknologi, I. Proses, D. Teknologi, I. Rancang, and P. Gula, “Pengukuran Variabel Proses pada Quadruple Effect Evaporation di Pabrik Gula,” *M.P.I*, vol. 7, no. 1, pp. 19–26, 2013, <https://doi.org/10.29122/mipi.v7i1.3640>.