

EVALUASI KINERJA *FALLING FILM EVAPORATOR TRIPPLE EFFECT* DEPARTEMEN PRODUKSI MSG BERDASARKAN PERBANDINGAN KEBUTUHAN STEAM

Ferlita Novemia Agustina dan Yanty Maryanty

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
ferlitanove41@gmail.com ; [yanty.maryanty@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Falling Film Evaporator (FFE) memegang peran penting dalam mengurangi kadar air larutan GM-3 (*Glutamic Mother-3*) sebelum tahap hidrolisis untuk menghasilkan asam glutamat. Keterbatasan kapasitas reaktor dan pentingnya waktu tinggal selama hidrolisis menjadikan pemekatan larutan GM-3 krusial guna menjaga efisiensi proses. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efisiensi kinerja FFE GM-3 dalam proses pemekatan tersebut. Metodologi yang digunakan meliputi perhitungan neraca massa dan panas untuk menentukan kebutuhan *steam* teoritis, kemudian dibandingkan dengan konsumsi *steam* aktual pada unit FFE GM-3. Variabel utama yang dianalisis adalah kebutuhan *steam* (kg/jam) dan efisiensi evaporator (%). Hasil evaluasi menunjukkan kebutuhan *steam* teoritis sebesar 3.975,25 kg/jam, sedangkan data aktual mencapai 4.642,36 kg/jam. Hal ini menghasilkan efisiensi evaporator sebesar 85,63%. Berdasarkan hasil tersebut, untuk menjaga kinerja alat disarankan dilakukan pembersihan kerak dan korosi secara berkala serta mempertimbangkan penggantian unit FFE jika diperlukan. Langkah ini diharapkan dapat meminimalkan penurunan efisiensi yang berdampak pada peningkatan konsumsi energi dan biaya operasional.

Kata kunci: efisiensi kinerja, triple effect evaporator, steam, MSG

ABSTRACT

Falling Film Evaporator (FFE) plays an important role in reducing the water content of the GM-3 (*Glutamic Mother-3*) solution before the hydrolysis stage to produce glutamic acid. The limitations of reactor capacity and the importance of residence time during hydrolysis make the concentration of GM-3 solution crucial to maintaining process efficiency. This study aims to evaluate the performance efficiency of FFE GM-3 in the concentration process. The methodology used includes mass and heat balance calculations to determine the theoretical steam requirement, which is then compared with the actual steam consumption in the FFE GM-3 unit. The main variables analyzed are steam demand (kg/hour) and evaporator efficiency (%). The evaluation results show a theoretical steam demand of 3,975.25 kg/hour, while the actual data reaches 4,642.36 kg/hour. This results in an evaporator efficiency of 85.63%. Based on these results, to maintain equipment performance, it is recommended to periodically clean scale and corrosion and consider replacing the FFE unit if necessary. This step is expected to minimize the decrease in efficiency, which impacts the increase in energy consumption and operational costs.

Keywords: performance efficiency, triple effect evaporator, steam, MSG

1. PENDAHULUAN

Pabrik Monosodium Glutamate (MSG) adalah perusahaan multinasional yang berfokus pada sektor industri makanan, terutama dalam bidang produksi bumbu masak dan bahan

Corresponding author: Yanty Maryanty
Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
E-mail: yanty.maryanty@polinema.ac.id



penyedap rasa. Pabrik utamanya dikenal sebagai salah satu fasilitas produksi utama yang telah menerapkan prinsip efisiensi energi dan keberlanjutan dalam proses industrinya. Selain memproduksi bahan pangan utama berbasis fermentasi, perusahaan ini juga mengembangkan berbagai produk turunan lainnya untuk mendukung kualitas hidup dan kebutuhan gizi masyarakat. Salah satu produk utamanya yaitu Monosodium Glutamate (MSG) yang dikenal sebagai bahan penguat rasa [1].

Pada proses pembuatan MSG, terdapat empat tahapan utama, yaitu unit demineralisasi (dekalsifikasi), unit fermentasi, unit isolasi, dan unit pemurnian (purifikasi). Unit isolasi menjadi sangat penting karena di dalamnya terdapat proses evaporasi menggunakan *Falling Film Evaporator* (FFE) *tripple effect* yang berfungsi memekatkan larutan glutamic mother-3 (GM-3). Proses pemekatan ini krusial karena larutan pekat hasil evaporasi selanjutnya akan menjalani hidrolisis selama 4 jam untuk menghasilkan asam glutamat sebagai prekursor utama MSG. Namun, keterbatasan kapasitas reaktor hidrolisis pada suhu operasi 110 °C dan tekanan 1,5 Psi menyebabkan volume GM-3 perlu dikurangi melalui proses pemekatan agar waktu retensi hidrolisis tetap terpenuhi. Jika volume GM-3 terlalu besar, maka holding time akan berkurang, mengakibatkan penurunan efisiensi hidrolisis serta menurunkan yield dan recovery senyawa. Oleh karena itu, kinerja FFE GM-3 sangat penting untuk menjaga kestabilan proses dan hasil produksi.

Penelitian terkait evaluasi kinerja sistem evaporator telah banyak dilakukan. Setyawan dan Sujati (2017) mengevaluasi kinerja sistem evaporator di IPLR selama periode 2014–2017 dan menemukan bahwa efisiensi kalor mengalami fluktuasi, yakni 83,10%, 78,36%, 79,38%, dan menurun tajam menjadi 61,38% pada tahun 2017 [2]. Penurunan efisiensi ini disebabkan oleh adanya *pressure drop* akibat gesekan dalam pipa, kehilangan panas ke lingkungan, serta pembentukan kerak dan korosi pada permukaan perpindahan panas. Kurangnya perawatan seperti perendaman dengan asam juga memperparah kondisi tersebut. Sementara itu, berdasarkan studi yang dilakukan oleh Febrianti dkk. (2019) mengenai sistem *tripple effect evaporator* pada proses produksi pupuk ZA II, ditemukan bahwa konsumsi uap (*steam*) mencapai 132,06% dari kebutuhan desain awal. Hal ini menyebabkan penurunan efisiensi kinerja evaporator dari nilai ideal 100% menjadi 75,723% [3]. Penurunan efisiensi ini berkorelasi langsung dengan konsumsi *steam* yang berlebih, karena menunjukkan bahwa energi yang masuk ke sistem tidak sepenuhnya termanfaatkan secara efektif. Dalam kondisi operasi yang efisien, jumlah *steam* yang digunakan seharusnya sesuai dengan kebutuhan teoritis untuk menguapkan air dari larutan. Namun, pada kondisi aktual, dibutuhkan lebih banyak *steam* untuk mencapai penguapan yang sama, yang mengindikasikan adanya hambatan dalam proses perpindahan panas. Penyebab utamanya adalah *pressure drop*, pembentukan kerak akibat kandungan kalsium, serta korosi akibat penggunaan asam kuat [4]. Penelitian ini juga menyoroti perlunya perawatan rutin dan pengendalian *pressure drop* dalam sistem distribusi *steam* [3].

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa evaluasi performa evaporator tidak hanya penting untuk efisiensi energi, tetapi juga sebagai kendali kualitas dan kontinuitas proses produksi utama. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja *tripple effect evaporator* dengan membandingkan jumlah kebutuhan *steam* aktual terhadap kebutuhan teoritis sebagai dasar untuk memastikan proses hidrolisis berjalan optimal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang diterapkan dalam evaluasi kinerja berdasarkan perbandingan kebutuhan data *steam* aktual dan teoritis pada sistem *tripple effect evaporator* dalam proses produksi MSG adalah sebagai berikut:

2.1. Data Primer

Proses pengambilan data dilakukan secara langsung di industri, mencakup baik data aktual dari operasi alat maupun data teoritis dari perhitungan *evaporator trippe effect* tipe *falling film*.

Tabel 1. Data aktual alat FFE GM-3

No	Data	Jumlah	Satuan
1	<i>Massflow Feed (F)</i>	16.286,11	kg/jam
2	<i>Concentrated Mother Liquor-2 Effect ke-3 (L₃)</i>	7.987,5	kg/jam
3	<i>Vapor (V)</i>	8.298,61	kg/jam
4	<i>Steam (S)</i>	4.642,36	kg/jam
5	<i>Heating Surface Area (A)</i>	180	m ²
6	<i>Ekonomi Steam (Es)</i>	1,79	Kg Vapor/Kg Steam

Tabel 2. Data teoritis alat FFE GM-3

No	Data	Jumlah	Satuan
1	F	15	kL/jam
2	T _F	70	°C
		343,15	K
3	T _{ref}	0	°C
		273,15	K
4	ρ _F	1,1	gr/mL
		1.100	kg/kL
5	X _F	7	%
		0,07	
6	T _{S1}	135	°C
7	P ₃	13,4	kPa
		1,94	Psia
8	X ₃	17	%
		0,17	
9	T _{S1}	135	°C
10	P ₃	13,4	kPa
		1,94	Psia
11	X ₃	17	%
		0,17	
12	C _p	4,19-2,35 x	kJ/kg.K
13	BPR ₁	1	°C

No	Data	Jumlah	Satuan
14	BPR ₂	2	°C
15	BPR ₃	3	°C
16	U ₁	450	W/m ² .K
17	U ₂	450	W/m ² .K
18	U ₃	450	W/m ² .K

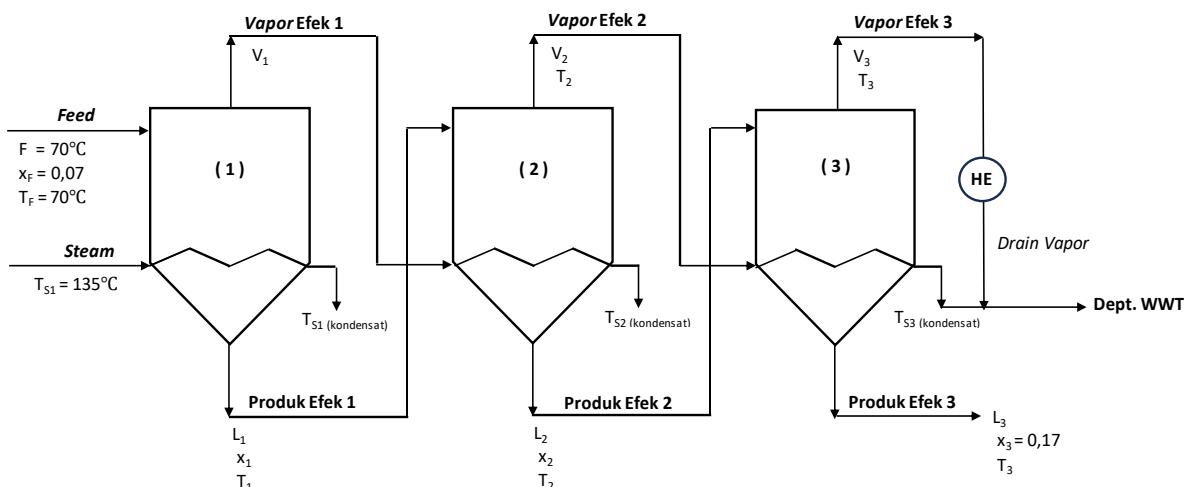
(Lanjutan)

2.2. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan untuk mendukung perhitungan efisiensi evaporator tiga efek meliputi panas latent bahan dan steam, entalpi, tekanan dan suhu operasi tiap efek, serta kapasitas panas jenis (*heat capacity*) dari larutan yang diuapkan. Data-data ini digunakan dalam perhitungan neraca massa dan neraca panas, serta evaluasi efisiensi energi sistem. Sumber utama data dan konsep diperoleh dari literatur seperti *Transport Processes and Separation Process Principles* oleh Geankoplis (2003) [5].

2.3. Pengolahan Data

Evaluasi kinerja *falling film evaporator tripple effect* dilakukan melalui tahapan perhitungan yang mencakup neraca massa, neraca panas, ekonomi steam, efisiensi kinerja *falling film evaporator* berdasarkan perbandingan *steam* aktual dan teoritis. Seluruh perhitungan didasarkan dan mengacu pada data-data sekunder [5]. Berikut diagram alir dari *tripple effect evaporator* dan tahapan perhitungan efisiensi *falling film evaporator tripple effect* pada departemen produksi MSG seksi isolasi.



Gambar 1. Diagram alir *tripple effect evaporator* di Pabrik MSG

- Menentukan titik didih pada efek terakhir berdasarkan konsentrasi produk akhir yang diinginkan dan tekanan pada efek terakhir yaitu efek ke-3.
- Menghitung total uap air yang diuapkan dengan mengasumsikan bahwa laju penguapan di setiap efek sama besar ($V_1 = V_2 = V_3$) Dengan asumsi ini, jumlah larutan terkonsentrasi (*concentrated mother liquid*) yang diperoleh dari tiap efek adalah L_1 , L_2 , dan L_3 , sehingga:

$$F = L_3 + (V_1 + V_2 + V_3) \quad (1)$$

$$F \cdot X_F = L_3 \cdot X_L + (V_1 + V_2 + V_3) \cdot X_V \quad (2)$$

3. Menentukan *Boiling Point Rise* (BPR) larutan *glutamic mother-3* untuk masing-masing efek evaporator.
4. Menghitung kapasitas panas (*heat capacity*) pada tiap efek dengan membuat neraca panas sebagai berikut:
Efek evaporator 1:

$$F \cdot Cp_F \cdot (T_F - T_1) + S \cdot \lambda_S = L_1 \cdot Cp_{L1} + (T_1 - T_{ref}) \cdot V_1 \cdot \lambda_1 \quad (3)$$

Efek evaporator 2:

$$L_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_1 - T_2) + V_1 \cdot \lambda_1 = L_2 \cdot Cp_{L2} + (T_2 - T_{ref}) \cdot V_2 \cdot \lambda_2 \quad (4)$$

Efek evaporator 3:

$$L_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_2 - T_3) + V_2 \cdot \lambda_2 = L_3 \cdot Cp_{L3} + (T_3 - T_{ref}) \cdot V_3 \cdot \lambda_3 \quad (5)$$

5. Menentukan laju penguapan di masing-masing efek dapat dilakukan dengan rumus:

$$V_1 = F - L_1 \quad (6)$$

$$V_2 = L_1 - L_2 \quad (7)$$

$$V_3 = L_2 - L_3 \quad (8)$$

6. Menghitung kalor (q), luas permukaan pemanas (A) pada setiap efek, serta luas permukaan pemanas rata-rata (Am). Jika terdapat perbedaan lebih dari 10% antara luas pemanas rata-rata dan masing-masing efek, maka dilakukan penyesuaian (*trial & error*) hingga selisihnya kurang dari 10%:

$$\frac{A_m - A_{efek\ ke-}}{A_m} < 10\% \quad (9)$$

7. Menghitung neraca massa terbaru untuk nilai L_1 , L_2 , dan L_3 dengan menggunakan hasil dari perhitungan kalor sebelumnya pada poin 4.
8. Menentukan *Boiling Point Rise* (BPR) untuk larutan *glutamic mother-3* pada setiap efek
9. Menghitung kapasitas panas (*heat capacity*) untuk masing-masing efek evaporator
10. Menghitung kembali kalor (q), luas pemanas (A), dan luas pemanas rata-rata (Am) untuk memastikan konsistensi hasil perhitungan pada tiap efek
11. Menentukan nilai efisiensi pemanfaatan *steam* (E_s) dengan menggunakan rumus: nilai

$$E_s = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{S}$$

12. Menghitung persentase deviasi konsumsi *steam* antara nilai aktual dan teoritis:

$$\text{Deviasi (\%)} = \frac{\text{steam aktual} - \text{steam teoritis}}{\text{steam teoritis}} \times 100\% \quad (10)$$

13. Menentukan efisiensi kinerja evaporator, yang dihitung berdasarkan konsumsi *steam* aktual dibandingkan dengan teoritis:

$$\text{Konsumsi steam} = \frac{\text{kebutuhan steam aktual}}{\text{kebutuhan steam teoritis}} \times 100\% \quad (11)$$

$$\text{Efisiensi kinerja evaporator} = \frac{100}{\text{konsumsi steam}} \quad (12)$$

Keterangan:

- F : laju massa aliran umpan yang masuk ke evaporator (dalam satuan kg/jam)
- X_F, X_L, X_V : konsentrasi atau fraksi massa dari umpan, cairan hasil, dan uap
- $L_{1,2,3}$: laju aliran cairan (*liquid*) di masing-masing tahap evaporasi (kg/jam)
- $V_{1,2,3}$: laju penguapan pada evaporator (kg/jam)
- $Cp_{L1,2,3}$: kapasitas panas bahan pada evaporator efek 1, 2 dan 3 (kJ/kg.°C)
- T_F : suhu aktual umpan (*feed*) (°C)
- $T_{1,2,3}$: suhu aktual yang terjadi pada efek evaporator ke-1, ke-2, dan ke-3 (°C)
- T_{ref} : suhu referensi atau acuan dalam perhitungan panas (°C)
- λ_s : panas laten dari *steam* (uap jenuh) (kJ/kg)
- $\lambda_{1,2,3}$: panas laten pada masing-masing efek evaporator ke-1, ke-2, dan ke-3 (kJ/kg)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pemekatan menggunakan *tripple effect evaporator*, yaitu sistem evaporator berantai tiga tahap yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi. Prinsip kerja alat ini adalah menggunakan uap dari tahap pertama sebagai sumber panas untuk tahap kedua, dan seterusnya, sehingga konsumsi *steam* dapat diminimalkan. Selain itu, sistem ini juga menggunakan tekanan vakum untuk menurunkan titik didih larutan, sehingga penguapan dapat berlangsung pada suhu lebih rendah [6]. Keuntungan dari penggunaan vakum ini adalah mengurangi degradasi termal produk dan mempercepat proses pemekatan [7]. Untuk mengetahui nilai efisiensi kinerja dari *falling film evaporator trippe effect* dari perbandingan kebutuhan *steam* aktual dan desain, maka perlu menghitung neraca massa dan panas terlebih dahulu.

3.1. Perhitungan Neraca Massa Dan Neraca Panas

Tabel 3. Hasil perhitungan neraca massa *tripple effect evaporator*

Evaporator	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
Evaporator efek 1	16.500,00	16.500,00
Evaporator efek 2	13.711,04	13.711,04
Evaporator efek 3	10.447,83	10.447,83

Berdasarkan data pada Tabel 3, neraca massa pada setiap efek evaporator menunjukkan keseimbangan antara total massa *input* dan *output*, yaitu masing-masing sebesar 16.500 kg/jam (efek-1), 13.711,04 kg/jam (efek-2), dan 10.447,83 kg/jam (efek-3).

Hal ini mengindikasikan bahwa proses evaporasi terjadi tanpa akumulasi atau kehilangan massa yang signifikan dalam setiap efek, berdasarkan keseimbangan *input-output* yang teramat pada data Tabel 3. Setiap efek menghasilkan dua keluaran utama, yaitu konsentrasi (CML-2) dan uap air (*vapor*) yang volumenya menurun secara bertahap seiring berkurangnya massa larutan yang diuapkan [8].

Tabel 4. Hasil laju alir *liquid*, *vapor* dan *steam*

Evaporator	CML-2 (L) kg/jam	Vapor (V) kg/jam	Steam (S) kg/jam
Effect 1	13.711,04	2.788,96	
Effect 2	10.447,83	3.263,21	3.975,25
Effect 3	6.794,12	3.653,71	

Berdasarkan data perhitungan teoritis pada Tabel 4 dan hasil aktual pada Tabel 1, terlihat adanya penyimpangan signifikan. Secara teoritis, *feed* sebanyak 16.500 kg/jam akan menghasilkan uap 9.705,88 kg/jam dan larutan konsentrasi sebesar 6.794,12 kg/jam. Namun, data aktual menunjukkan bahwa uap yang dihasilkan hanya 8.298,61 kg/jam, sedangkan konsentrasi mencapai 7.987,5 kg/jam. Penurunan hasil uap dan kenaikan jumlah konsentrasi ini menandakan bahwa proses penguapan tidak berlangsung secara optimal. Hal ini didukung oleh konsumsi *steam* aktual yang justru lebih tinggi dibanding perhitungan teoritis, mengindikasikan adanya ketidakefisienan energi dalam proses evaporasi [3].

Tabel 5. Hasil perhitungan neraca panas *tripple effect evaporator*

Evaporator	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Evaporator efek 1	13.234.434,6	13.234.434,6
Evaporator efek 2	12.013.139,54	12.013.139,54
Evaporator efek 3	10.905.956,29	10.905.956,29

Sementara itu, data pada Tabel 5 perhitungan neraca panas pada sistem *tripple effect evaporator* menunjukkan keseimbangan antara panas masuk (*input*) dan panas keluar (*output*) pada setiap efek. Pada evaporator efek 1, total energi *input* sebesar 13.234.434,6 kJ/jam setara dengan *output* sebesar 13.234.434,6 kJ/jam. Hal ini menunjukkan bahwa energi dari *steam* yang digunakan sepenuhnya dimanfaatkan untuk proses pemanasan larutan dan penguapan sebagian air di efek pertama. Keseimbangan ini juga terlihat pada efek 2 dan efek 3, masing-masing dengan total *input* dan *output* sebesar 12.013.139,54 kJ/jam dan 10.905.956,29 kJ/jam. Keseimbangan neraca panas ini menandakan bahwa proses perpindahan panas dalam sistem evaporator berjalan dengan efisien tanpa adanya kehilangan panas yang signifikan, baik melalui dinding peralatan maupun ke lingkungan [9].

Pada setiap efek, energi yang digunakan mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa proses evaporasi memanfaatkan kondisi vakum antarefek untuk menurunkan titik didih, sehingga uap air dapat terbentuk pada suhu lebih rendah dengan kebutuhan energi yang lebih sedikit [10]. Hal ini selaras dengan prinsip *tripple effect evaporator*, di mana uap dari satu efek digunakan kembali sebagai sumber panas di efek berikutnya. Uap hasil evaporasi dari unit pertama (V_1) digunakan sebagai sumber panas pada unit kedua untuk mendukung proses penguapan. Prinsip yang sama diterapkan pada unit berikutnya, di mana uap dari evaporator kedua (V_2) dimanfaatkan sebagai media pemanas pada

evaporator ketiga (V_3), membentuk sistem pemanfaatan energi secara berkesinambungan [3].

3.2. Perhitungan Efisiensi Kinerja Evaporator

Tabel 6. Data hasil perhitungan secara teoritis dan aktual alat FFE GM-3

Data	Jumlah Teoritis	Jumlah Aktual	Satuan
Massflow Feed (F)	16500	16286,11	kg/jam
Concentrated Mother Liquor-2 Effect ke-3 (L_3)	6794,12	7987,5	kg/jam
Vapor (V)	9705,88	8298,61	kg/jam
Steam (S)	3975,25	4642,36	kg/jam
Deviasi konsumsi steam aktual dan teoritis	16,78		%
Vacuum pressure	-650	-617,1	mmHg
Heating Surface Area (A)	176,77	180	m^2
Ekonomi Steam (Es)	2,44	1,79	Kg Vapor/Kg Steam
Efficiency Evaporator	85,63		%

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis dan data aktual pada *unit Falling Film Evaporator* (FFE) GM-3, terdapat perbedaan yang signifikan antara kondisi ideal dan kondisi operasional nyata di lapangan. Perbedaan ini mencerminkan adanya beberapa faktor teknis dan operasional yang memengaruhi performa evaporator, baik dari segi efisiensi energi maupun efektivitas penguapan. Salah satu parameter utama yang dibandingkan adalah laju alir umpan (*massflow feed*). Secara teoritis alat dirancang untuk menerima aliran umpan sebesar 16.500 kg/jam, sedangkan nilai aktualnya sedikit lebih rendah, yaitu sebesar 16.286,11 kg/jam. Selisih ini mengindikasikan adanya fluktuasi kecil pada aliran bahan baku yang mungkin disebabkan oleh kondisi operasional aktual seperti variasi tekanan dan suhu yang tidak stabil, perubahan densitas larutan, atau ketidakteraturan pasokan dari proses. Walaupun selisihnya kecil, penyimpangan ini tetap dapat memengaruhi performa akhir evaporator secara keseluruhan. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat fluktuasi kecil pada aliran bahan baku, yang bisa disebabkan oleh kondisi operasional aktual seperti variasi tekanan dan suhu yang tidak konstan [5].

Selanjutnya, jumlah hasil konsentrasi dari efek ketiga secara aktual justru lebih tinggi (7.987,5 kg/jam) dibandingkan nilai teoritis (6.794,12 kg/jam), yang menandakan bahwa proses penguapan tidak berjalan secara optimal. Dengan demikian, sebagian besar air masih tertinggal di dalam produk konsentrasi. Hal ini memperkuat indikasi bahwa proses penguapan belum optimal, dan bisa disebabkan oleh sejumlah faktor seperti penurunan transfer panas akibat *fouling* pada permukaan pemanas, distribusi *steam* yang tidak merata, atau pengendalian vakum yang tidak presisi. Kondisi ini juga diperkuat dengan data jumlah uap (*vapor*) yang dihasilkan. Dalam kondisi ideal, evaporator diperkirakan mampu menghasilkan uap sebesar 9.705,88 kg/jam, namun secara aktual hanya mampu menghasilkan 8.298,61 kg/jam. Rendahnya jumlah uap yang terbentuk berbanding lurus dengan tingginya jumlah cairan konsentrasi yang dihasilkan, yang berarti banyak air yang seharusnya diuapkan tetap tertinggal dalam produk akhir.

Sementara itu, jumlah *steam* (uap pemanas) yang digunakan dalam proses menunjukkan deviasi sebesar 16,78%, yang dihitung berdasarkan selisih antara jumlah *steam* aktual. Secara teoritis, evaporator hanya membutuhkan 3,975,25 kg/jam *steam* untuk menguapkan air dari larutan. Namun pada praktiknya, jumlah *steam* aktual yang digunakan meningkat menjadi 4.642,36 kg/jam. Hal ini berarti konsumsi energi aktual lebih besar daripada yang dirancang, yang tentunya berdampak langsung terhadap biaya operasional dan efisiensi energi proses. Peningkatan konsumsi *steam* berdampak pada penurunan nilai *steam economy*, yaitu rasio antara massa uap air yang dihasilkan dengan massa *steam* yang digunakan sebagai media pemanas. Nilai teoritis *steam economy* berada pada angka 2,44 kg uap/kg *steam*, sedangkan nilai aktual hanya mencapai 1,79 kg uap/kg *steam*. Penurunan ini menunjukkan bahwa setiap kilogram *steam* yang digunakan menghasilkan uap air lebih sedikit dari yang seharusnya, yang memperkuat kesimpulan bahwa performansi evaporator belum optimal [11].

Selain itu, data menunjukkan bahwa tekanan vakum aktual dalam sistem sebesar -617,1 mmHg lebih tinggi dari nilai ideal sebesar -650 mmHg. Nilai tekanan vakum negatif menunjukkan bahwa sistem berada dalam kondisi vakum (tekanan rendah), dan semakin besar nilai negatifnya, semakin tinggi tingkat kevakumannya. Perbedaan ini berimplikasi langsung terhadap titik didih cairan. Semakin tinggi tekanan (semakin mendekati tekanan atmosfer), maka titik didih larutan pun meningkat, yang berarti energi yang dibutuhkan untuk mencapai titik penguapan juga meningkat. Akibatnya, proses evaporasi menjadi kurang efisien dan memerlukan waktu serta energi yang lebih besar. Dari hasil perhitungan, efisiensi alat FFE GM-3 berdasarkan konsumsi *steam* berada pada angka 85,63%. Meskipun angka ini masih tergolong cukup baik, namun belum mencapai target desain yang diharapkan. Salah satu penyebab menurunnya efisiensi adalah adanya panas yang hilang ke lingkungan.

Harga efisiensi ini menunjukkan bahwa banyaknya kalor yang dilepas oleh *steam* yang digunakan oleh larutan untuk melakukan penguapan pelarutnya. Nilai efisiensi yang semakin rendah menunjukkan bahwa alat akan semakin lama dalam beroperasi. Hal tersebut menunjukkan hasil yang kurang optimal, dimana nilai aktual tidak mencapai target dari desain yang telah ditentukan. Yang seharusnya jika menggunakan konfigurasi evaporator 3 efek, maka ekonomi *steam* yang dihasilkan semakin tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa evaporator kurang optimal dalam menguapkan kadar air sehingga konsumsi *steam* yang digunakan lebih besar dari pada air yang teruapkan. Panas hilang merupakan salah satu parameter penting yang memengaruhi efisiensi energi dalam proses evaporasi. Semakin besar jumlah panas yang hilang, maka semakin rendah efisiensi energi sistem. Oleh karena itu, kehilangan panas perlu diminimalkan karena berpotensi meningkatkan konsumsi energi dan biaya operasional. Upaya untuk mengurangi panas hilang akan berkontribusi pada optimalisasi kinerja sistem. Kehilangan panas dapat diidentifikasi melalui pengukuran suhu pada permukaan luar evaporator. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu permukaan evaporator relatif tinggi, yang mengindikasikan adanya kehilangan panas ke lingkungan sekitar [12].

Beberapa faktor penyebab penurunan efisiensi ini antara lain adalah kerak (*fouling*) dan korosi yang menumpuk akibat padatan tersuspensi dalam larutan, sehingga menghambat laju perpindahan panas dan meningkatkan konsumsi *steam* [13]. Selain itu,

umur alat FFE GM-3 yang telah beroperasi sejak tahun 2013 turut berkontribusi terhadap penurunan efisiensi karena komponen alat mengalami keausan seiring waktu [14]. Faktor lain yang memengaruhi kinerja adalah tekanan vakum aktual yang tercatat sebesar -617,1 mmHg, lebih tinggi dari desain -650 mmHg. Hal ini menunjukkan kemungkinan adanya kebocoran udara ke dalam sistem evaporator, yang menurunkan efektivitas vakum dan berdampak pada proses penguapan [15]. Kemungkinan penyebabnya bisa berasal dari kerusakan pada tutup evaporator atau kinerja pompa vakum yang menurun. Selama proses evaporasi berlangsung, falling film evaporator beroperasi dalam kondisi vakum dengan bantuan pompa penghisap udara. Apabila terjadi kebocoran pada sistem, pompa vakum akan tetap berupaya mempertahankan tekanan rendah dengan menarik udara dari berbagai jalur, termasuk dari celah atau saluran yang terbentuk akibat kebocoran. Kondisi ini dapat menurunkan efisiensi sistem serta mengganggu ketebalan operasi evaporator [16]. Beberapa faktor penyebab penurunan efisiensi ini antara lain adalah kerak (*fouling*) dan korosi yang menumpuk akibat padatan tersuspensi dalam larutan, sehingga menghambat laju perpindahan panas dan meningkatkan konsumsi *steam* [13]. Selain itu, umur alat FFE GM-3 yang telah beroperasi sejak tahun 2013 turut berkontribusi terhadap penurunan efisiensi karena komponen alat mengalami keausan seiring waktu [14].

Efisiensi proses dapat ditingkatkan dengan mengurangi jumlah *steam* yang digunakan dalam proses evaporasi. Perhitungan teoritis berperan sebagai acuan penting dalam menentukan kebutuhan *steam* secara optimal. Peningkatan efisiensi energi tidak hanya berdampak pada kinerja proses yang lebih baik, tetapi juga berkontribusi terhadap penghematan biaya operasional pabrik. Selain pengurangan aliran *steam*, efisiensi panas pada setiap unit alat juga dapat ditingkatkan melalui upaya menjaga kondisi operasi tetap stabil, sehingga produk akhir yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

Beberapa solusi yang dapat diterapkan antara lain adalah mengurangi konsumsi *steam* sesuai dengan nilai teoritis, melakukan pembersihan kerak secara berkala baik melalui perendaman asam maupun *water jet* bertekanan tinggi [17], serta melakukan evaluasi berkala terhadap komponen dan sistem evaporator. Selain itu, penggunaan material isolator dengan konduktivitas termal rendah juga penting untuk mencegah kehilangan panas berlebih dan menjaga efisiensi energi [18]. Jika diperlukan, penggantian unit evaporator FFE GM-3 juga harus dipertimbangkan untuk menjaga keandalan dan performa proses evaporasi secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil evaluasi, *Falling Film Evaporator* (FFE GM-3) menunjukkan efisiensi proses yang belum optimal dengan konsumsi *steam* aktual sebesar 4.642,36 kg/jam, lebih tinggi dari kebutuhan teoritis 3.975,25 kg/jam, sehingga efisiensi hanya mencapai 85,63%. Selisih ini mengindikasikan panas tidak dimanfaatkan maksimal meskipun luas permukaan pemanas mendekati desain. Untuk meningkatkan kinerja, disarankan dilakukan perawatan rutin, pembersihan kerak dan korosi, serta mempertimbangkan penggantian unit lama. Pemasangan insulator dan penambahan sensor seperti *mass flow meter* juga direkomendasikan guna meminimalkan kehilangan panas serta mempermudah pemantauan performa secara lebih akurat dan efisien.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar evaluasi kinerja FFE dilengkapi dengan pengukuran distribusi temperatur dan tekanan pada beberapa titik strategis sepanjang evaporator, seperti pada inlet dan outlet setiap efek, untuk memperoleh profil perpindahan panas yang lebih detail. Selain itu, penggunaan perangkat lunak simulasi seperti Aspen HYSYS direkomendasikan untuk memodelkan proses evaporasi berdasarkan kondisi operasi aktual, sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan data lapangan maupun perhitungan manual. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi FFE, sekaligus menjadi dasar perbaikan desain dan pengendalian operasional yang lebih tepat. Penelitian ini merupakan hasil dari kegiatan magang penulis di Pabrik MSG. Kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim teknis dan manajemen Pabrik MSG atas dukungan, bimbingan, serta fasilitas yang diberikan selama proses magang dan penelitian berlangsung. Kesempatan untuk terlibat langsung dalam operasional dan analisis proses di lapangan telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap penyusunan model dan validasi eksperimental dalam studi ini.

REFERENSI

- [1] D. L. Rochmah dan E. T. Utami, "Dampak Mengkonsumsi Monosodium Glutamat (MSG) Dalam Perkembangan Otak Anak," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 10, no. 2, hal. 163–166, 2022.
- [2] A. Setyawan dan N. M. Sujati, "Evaluasi Hasil Analisis Efisiensi Kinerja Sistem Evaporator IPLR Tahun 2014-2017," *Center for Radioactive Waste Technology, National Nuclear Energy Agency*, hal. 255–259, 2017.
- [3] F. U. D. Pratiwi, A. Kartikasari, dan A. Chumaidi, "Analisa Efisiensi Kinerja Tripple Effect Evaporator pada Produksi Pupuk Ammonium Sulfat II (ZA II) di Industri Pupuk," *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 5, no. 1, hal. 19–23, 2019.
- [4] F. Hapsari dan N. M. Sujati, "Efisiensi Kinerja Evaporator Pada Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Pusat Teknologi Limbah Radioaktif Batan," *Jurnal Ilmiah Indonesia*, vol. 4, no. 4, 2019.
- [5] Christie J. Geankoplis, *Transport Processes and Unit Operations*, Third. Prentice Hall International, Inc, 1983.
- [6] Atulkmar. G. Sanadi dan S. A. Khot, "Design & Analysis of Multiple effect Evaporator for Sugar Industry," 2024.
- [7] Y. Qi dkk., "Developing a 'Sponge Catchment Management Plan (SCMP)' framework at the catchment scale: The case of Guiyang, SW China," *River*, vol. 2, no. 1, hal. 109–125, 2023.
- [8] S. Iffah Munawaroh, N. Azizah, dan M. Subur, "Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi Evaporator pada Unit Kilang PPSDM Migas CEPU," *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 1, hal. 13–19, 2021.
- [9] S. Chantasirwan, "Increased energy efficiency of a backward-feed multiple-effect evaporator compared with a forward-feed multiple-effect evaporator in the cogeneration system of a sugar factory," *Processes*, vol. 8, no. 3, 2020.
- [10] M. I. Ardiansyah, A. Suwandi Wijaya, D. R. Wulan, dan A. Suwito, "Analisis Pengaruh Tekanan Uap Bekas terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Sistem Evaporator 5 Efek

- pada PG Kedawoeng, Pasuruan,” *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 1, hal. 185–195, 2022.
- [11] S. I. Munawaroh, N. Azizah, Mufid, dan Muh. Subur, “Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi Evaporator pada Unit Kilang PPSDM MIGAS CEPU,” *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, hal. 13–9, 2021.
 - [12] S. Iffah Munawaroh, N. Azizah, dan M. Subur, “Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi Evaporator pada Unit Kilang PPSDM Migas Cepu,” *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 2021, no. 1, hal. 13–19, 2021.
 - [13] A. Setyawan, “Evaluasi Efisiensi Proses Evaporasi Pasca Blowdown Konsentrat,” 2017.
 - [14] P. P. Maya, A. R. Dewi, Rohmadi, dan K. Sa’diyah, “Evaluasi Neraca Massa dan Neraca Energi pada Proses Distilasi Atmosferik di Unit Kilang PPSDM MIGAS CEPU,” *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, 2023.
 - [15] A. Syakdani, I. Purnamasari, dan E. Necessary, “Prototipe Alat Evaporator Vakum (Efektivitas Temperature dan Waktu Evaporasi terhadap Tekanan Vakum dan Laju Evaporasi pada Pembuatan Sirup Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia L.*)),” *Jurnal Kinetika*, vol. 10, hal. 29–35, 2019.
 - [16] N. Shah, “Pembuatan Pressure Monitoring Untuk Menentukan Indicated Horse Power (IHP) Pada Mesin Diesel,” *Jurnal Invotek Politeknik Negeri Bengkalis*, vol. 07, no. 2, 2017.
 - [17] A. Setyawan dan N. Mayas, “Evaluasi Hasil Analisis Efisiensi Kinerja Sistem Evaporator,” 2017.
 - [18] Rifky dan V. Muharom, “Pengaruh Sifat Konduktivitas Termal Material Isolator (Kayu, Karet Dan Styrofoam) Terhadap Perpindahan Panas Dan Daya Keluaran Sistem Generator Thermoelectric,” *Jurnal Manufaktur*, vol. 1, no. 1, hal. 8–15, 2022.