

EVALUASI KINERJA KOLOM FRAKSINASI C-1 DI KILANG MIGAS XYZ MENGGUNAKAN METODE NERACA MASSA DAN NERACA PANAS

Muhammad Jaggu Ardhana¹, Agus Setiyono^{1*}

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No.38, Blora, 58315

*E-mail: agasasutadewa@gmail.com

ABSTRAK

Proses pengolahan minyak dan gas (migas) di kilang migas XYZ dilakukan melalui distilasi atmosferik. Kolom fraksinasi C-1 merupakan tahap pemisahan pertama yang menghasilkan campuran Pertasol CA dan CB sebagai produk atas serta Solar sebagai produk bawah. Penelitian ini mengevaluasi kinerja Kolom C-1 menggunakan metode neraca massa dan neraca panas untuk mengetahui efisiensi termalnya. Hasil evaluasi menunjukkan neraca massa seimbang dengan *input* 225.378,68 kg/hari dan *output* 225.378,67 kg/hari (*losses* $\approx$ 0%). Pada neraca panas, diperoleh panas masuk sebesar 333.267.314,35 BTU/hari dan panas keluar 176.007.216,19 BTU/hari, sehingga *heat loss* yang terjadi sebesar 47,19%. Nilai efisiensi termal kolom C-1 adalah 52,81%. Hasil ini membuktikan bahwa kinerja Kolom C-1 masih layak untuk dioperasikan karena nilai efisiensinya masih melebihi standar minimal 40% pada bagian *Gas-Liquid Contacting Systems*.

Kata kunci: Efisiensi kolom, Kilang migas, Kolom fraksinasi

1. PENDAHULUAN

Kilang migas XYZ memiliki peran ganda sebagai lembaga pengembangan kompetensi pada sektor minyak dan gas bumi serta fasilitas pengolahan *crude oil* yang dipasok oleh PT Pertamina EP Wilayah Jawa Area Cepu. Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa minyak mentah dari sumur Kawengan dan Nglobo diangkut menggunakan pompa ke kilang XYZ untuk diproses menjadi berbagai produk bahan bakar seperti pertasol, solar, dan residu [1]. Proses pengolahan di kilang ini melibatkan berbagai peralatan penting termasuk *heat exchanger*, furnace, evaporator, kolom destilasi fraksinasi, kondensor, stripper, *cooler*, dan separator, dengan crude distillation unit sebagai komponen kunci dalam sistem tersebut [2]. Secara fundamental, destilasi merupakan metode pemisahan komponen berdasarkan perbedaan titik didih, yang terjadi dalam kolom yang dilengkapi dengan tray sebagai media kontak antara fasa cair dan uap [3].

Kilang migas XYZ menerapkan sistem pemisahan minyak mentah secara bertingkat menggunakan *Crude Distillation Unit* [4], dimana kolom dilengkapi dengan serangkaian tray yang tersusun berjarak untuk memisahkan fraksi minyak mentah berdasarkan titik didih dikondisi tekanan 1 atm [5]. Hasil dari proses fraksinasi ini menghasilkan berbagai produk seperti Pertasol CA, Pertasol CB, Pertasol CC, Solar, dan Residu [6]. Dalam operasionalnya, kilang migas XYZ memanfaatkan steam yang berperan penting dalam mendukung berbagai tahap pengolahan minyak bumi [7], khususnya dalam proses distilasi dimana *steam* berfungsi untuk membantu proses pemanasan. Boiler berperan sebagai peralatan utama yang bertanggung jawab untuk memproduksi *steam* yang diperlukan dalam operasional kilang [8].

Beberapa studi sebelumnya terkait kinerja kolom fraksinasi di kilang migas XYZ Cepu telah dilaporkan. Di antaranya, Amalia dan Windi melakukan evaluasi kolom C-1 dengan neraca massa dan panas, menemukan efisiensi sebesar 73,08% dan *heat loss* 26,92% [9]. Aprilia dkk mengevaluasi sistem pengendali temperatur dan *flowrate* kolom C-1, melaporkan peningkatan efisiensi *thermal* dari 61,45% menjadi 71,19% dengan *steam injection* [10]. Suzeta menilai kinerja kolom fraksinasi C-2 dengan efisiensi termal 81,658%. Penelitian-penelitian ini mendukung kelayakan dan optimalisasi operasi kolom fraksinasi di kilang migas XYZ.

Pada proses pengolahannya, kilang migas XYZ Cepu memiliki berbagai kolom diantaranya *Evaporator*, C-1, C-2, C-3, C-4, serta C-5. Kolom C1 ialah peralatan utama di kilang yang memiliki fungsi tempat terjadinya pemisahan fraksi ringan dengan fraksi berat dan alat kontak berupa *tray*. Dalam melakukan evaluasi kolom fraksinasi C-1. Persamaan yang digunakan penulis dalam melakukan evaluasi adalah sebagai berikut.:

a. Total *Feed*

Total *Feed* dapat di hitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Total\ Feed = \Sigma Product \quad (1)$$

b. Neraca Massa

$$F = B + D \quad (2)$$

$$Input = Output \quad (3)$$

c. Neraca Panas

Rumus untuk melakukan perhitungan kandungan panas pada aliran bahan sebagai berikut:

$$Q = m \times H \quad (4)$$

Untuk Q adalah panas yang terkandung dalam zat (Btu), m adalah massa bahan (lb) dan H adalah entalpi bahan (Btu/lb).

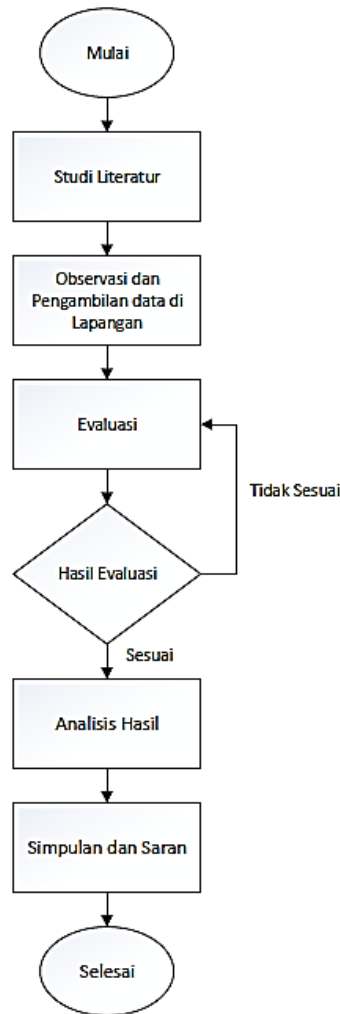
$$Heat\ loss = Panas\ masuk - Panas\ keluar \quad (5)$$

$$\% Heat\ loss = \frac{Panas\ yang\ Hilang}{Panas\ yang\ masuk} \times 100\% \quad (6)$$

$$Efisiensi = 100\% - Presentase\ panas\ yang\ hilang \quad (7)$$

2. METODE

Dalam tahap ini, untuk mengevaluasi performa kolom fraksinasi C-1, metode yang digunakan yaitu dengan analisis hasil perhitungan Neraca Massa, Neraca Panas dan *Heat Loss* (Panas Hilang) seperti dipaparkan pada Gambar 1. Data yang diambil dan akan digunakan dalam perhitungan yang tidak menggunakan *steam*. Dalam hal ini, dilakukan asumsi *steam* berdasarkan buku Nelson Edisi 4. Metode tersebut untuk mengetahui nilai efisiensi pada kolom fraksinasi (C-1) dan menghitung banyaknya panas yang hilang (*heat loss*) selama proses berlangsung. Dalam melakukan evaluasi kolom C-1 untuk mengetahui performa dari alat yang diamati berdasarkan hasil perhitungan. Perhitungan yang digunakan pada kolom C-1 adalah perhitungan untuk mengetahui nilai neraca massa, neraca panas, serta panas hilang (*heat loss*).



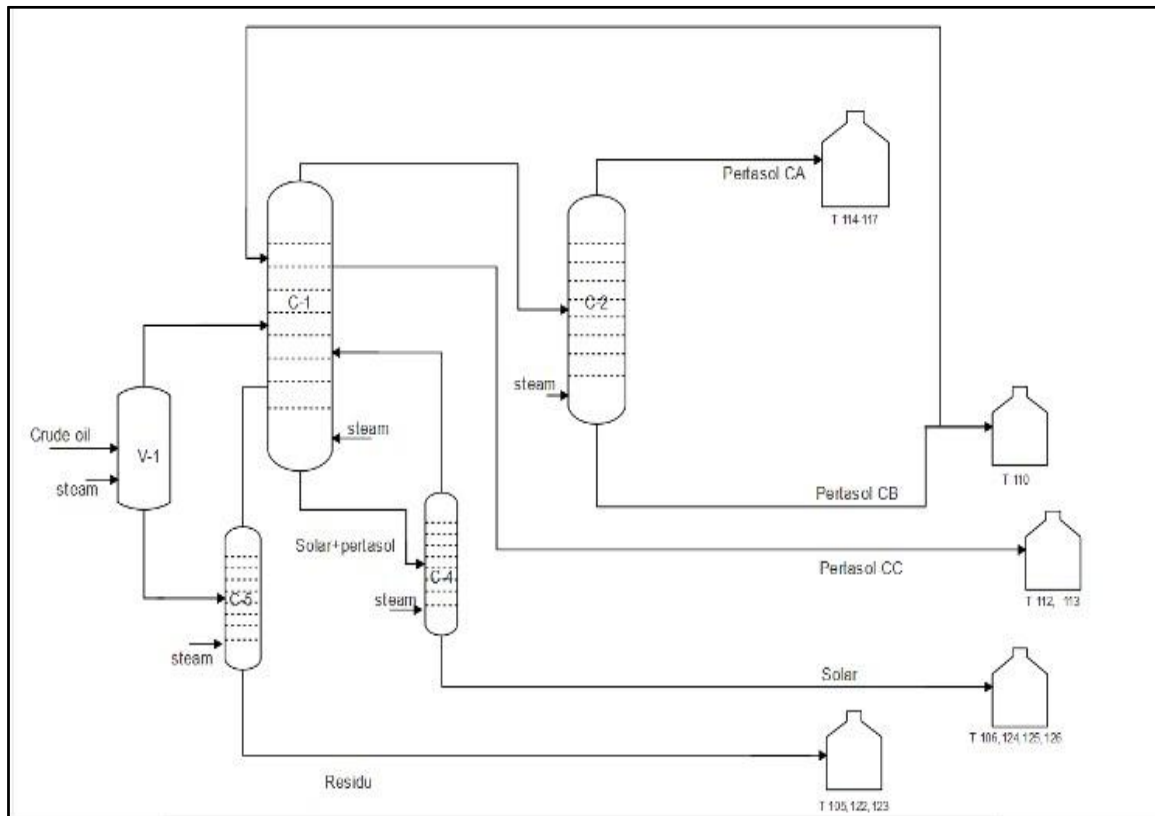
Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

3. PEMBAHASAN

A. Proses *Flow Diagram* (PFD)

Alur proses pada kilang XYZ digambarkan pada Gambar 2. Minyak mentah dipanaskan di furnace dan dialirkan ke evaporator (V-1) untuk memisahkan fraksi ringan dan berat. Fraksi ringan menjadi uap dan keluar sebagai hasil atas, sedangkan fraksi berat menjadi hasil bawah. Fraksi berat kemudian diproses di kolom *stripper* (C-5) untuk memisahkan fraksi ringan yang terikut. Hasil atas C-5 kemudian dicampur dengan top produk evaporator dan dimasukkan ke kolom fraksinasi C-1.

Kolom fraksinasi C-1 akan memisahkan fraksi minyak bumi berdasarkan titik didihnya. Hasil sampingnya berupa solar dan fraksi ringan menuju kolom *stripper* (C-4) untuk memisahkan fraksi ringan. Hasil bawah C-4 berupa solar yang dipanaskan kembali. Hasil atas C-1 berupa uap pertasol CA dan CB yang menjadi umpan kolom fraksinasi C-2. Kolom fraksinasi C-2 terjadi pemisahan antara pertasol CA dan CB. Hasil atasnya berupa pertasol CA, sedangkan hasil sampingnya berupa pertasol CB.



Gambar 2. Proses Flow Diagram (PFD)

Tabel 1 menyajikan komposisi produk hasil penyulingan *crude oil* sebagai umpan utama pada pengambilan data tanggal 19 April-24 April 2024. Terlihat bahwa *crude oil* mendominasi dengan volume 100%, sedangkan produk turunannya seperti Pertasol CA, CB, Solar, dan Residu memiliki persentase dan *specific gravity* yang bervariasi, menunjukkan perbedaan karakteristik fisika masing-masing fraksi.

Tabel 1 Data produk pada pengambilan data tanggal 19 April-24 April 2024.

Produk	Rate (lt/hari)	Vol (%)	SG	Massa (kg/hari)	Massa (lb/hari)
<i>Crude oil</i>	246.500,000	100	0,8393	201.676,346	444.619,7064
Pertasol CA	27.420,333	10,167	0,4341	11.901,299	26.237,84145
Pertasol CB	19.497,500	9,650	0,7719	0,772	1,701746178
Solar	145.131,0	59,900	0,8421	0,842	1,856510502
Residu	69.063,600	28,758	0,9073	62.622,426	138.058,6522
Jumlah produk	240.856,400	0,316		341.908,142	753.777,5277
<i>Losses</i>		40,100		140.231,796	309.157,8212

B. Perhitungan Neraca Massa

Tabel 2 menunjukkan neraca massa kolom C-1 dengan total *input* 225.378,68 kg/hari dan *output* 225.378,67 kg/hari. Selisih yang sangat kecil (0,01 kg/hari) mengindikasikan sistem hampir tertutup dan perhitungan yang akurat, dengan distribusi aliran *top* dan *bottom* yang jelas. Pengambilan data dilakukan di unit Kilang PPSDM Migas pada tanggal 9 s.d 24 April 2024.

Setelah dilakukan perhitungan neraca massa mendapatkan hasil seperti dipaparkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Neraca Massa pada Kolom Fraksinasi C-1

Komponen	Input (kg/hari)	Output (kg/hari)	
		Top	Bottom
<i>Vapour evaporator</i>	146.247,97		
<i>Vapour C-5</i>	2.860,03		
<i>Vapour C-4</i>	7.800,95		
<i>Reflux</i>	45.156,15		45.156,15
<i>Vapour C-1</i>		23.370,39	
Solar			133.538,56
<i>Steam</i>	23.313,58	23.313,58	
Total	225.378,68	225.378,67	
<i>losses</i>		0,00	

Hasil dari perhitungan neraca panas kolom fraksinasi C-1 diperoleh dari observasi lapangan, studi literatur, dan diskusi yang telah dianalisis. Hasil dari perhitungan neraca panas disajikan dalam Tabel 3. Tabel 3 memaparkan neraca panas kolom C-1 dengan panas masuk sebesar 333.267.314,35 BTU/hari dan panas keluar 176.007.216,19 BTU/hari. Selisihnya yang besar (157.260.098,17 BTU/hari) menunjukkan *heat loss* yang signifikan, diduga akibat isolasi termal yang tidak optimal.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Neraca Panas Kolom Fraksinasi C-1

Komponen	Input (btu/hari)	Output (btu/hari)	
		Top	Bottom
<i>Top evaporator</i>	140.251.953,33		
<i>Top C-5</i>	1.765.460,34		
<i>Top C-4</i>	5.245.379,25		
<i>Reflux</i>	21.104.864,64		21.104.864,64
<i>Top C-1</i>		12.880.587,70	
Solar			82.177.608,32
<i>Steam</i>	164.899.656,79	59.844.155,53	
Total	333.267.314,35	176.007.216,19	
<i>Losses</i>		157.260.098,17	

Perhitungan dari nilai efisiensi C-1 dihitung untuk melakukan mengevaluasi kelayakan pada proses pengolahan di PPSDM MIGAS Cepu. Hasil perhitungan efisiensi kolom C-1 disajikan dalam Tabel 4. Efisiensi dihitung menggunakan Pers. (7) dan didapatkan hasil 52,8126 %.

Tabel 4. Nilai efisiensi panas kolom fraksinasi C-1

Panas Masuk (btu/hari)	Panas Keluar (btu/hari)	Panas yang Hilang (btu/hari)	Panas yang Hilang (%)	Efisiensi (%)
333.267.314,35	176.007.216,19	157.260.098	47,1874	52,8126

C. Pembahasan

Berdasarkan hasil evaluasi, dilihat dari data produk rata-rata menunjukkan bahwa *crude oil* mendominasi produksi dengan volume 100% dan rate 246.500,000 liter/hari. Data produk yang disajikan merupakan komposisi hasil penyulingan dari *crude oil* sebagai umpan utama. Nilai 100% pada kolom Vol (%) untuk *crude oil* menunjukkan bahwa volume produk lainnya dihitung sebagai persentase dari total volume *crude oil* yang diumpankan. Hal ini menunjukkan bahwa *crude oil* merupakan bahan baku utama yang diproses dalam industri ini, serta terdapat variasi produk antara lain Pertasol CB, Pertasol CA, Solar, dan Residu yang memiliki peran utama dalam refining, dengan perbedaan densitas produk yang diukur dengan *Specific Gravity* (SG) menunjukkan karakteristik fisika yang berbeda-beda, dan data massa (kg/hari) menunjukkan total massa setiap produk yang dihasilkan per hari yang dapat digunakan untuk mengukur efisiensi proses *refining*.

Berdasarkan data pada Tabel 2, neraca massa Kolom Fraksinasi C-1 menunjukkan keseimbangan yang sangat baik dengan total input 225.378,68 kg/hari dan total output 225.378,67 kg/hari, sehingga diperoleh selisih (*losses*) sebesar 0,01 kg/hari. Nilai *losses* yang sangat kecil ini menunjukkan akurasi perhitungan yang tinggi dan bahwa sistem dapat dianggap tertutup (*closed system*) untuk tujuan evaluasi. Penting untuk dipahami bahwa *losses* fisik aktual, seperti penguapan komponen ringan, kebocoran minor, atau pengambilan sampel untuk analisis laboratorium, secara praktis telah tercakup dalam nilai output yang terukur. Dengan demikian, selisih mendekati nol ini mengindikasikan bahwa tidak terjadi kehilangan massa yang signifikan atau tidak terukur dalam operasi Kolom C-1 selama periode pengambilan data. Kolom ini mampu memisahkan komponen-komponen yang berbeda berdasarkan titik didih, seperti *Vapour* C-1 yang dipisahkan pada bagian *Top* dan *Reflux* pada bagian *Bottom*.

Dalam operasinya, Kolom C-1 menerima aliran steam. Peran *steam* dalam proses distilasi dan fraksinasi secara umum adalah untuk menurunkan tekanan parsial hidrokarbon ringan, sehingga dapat menguap pada suhu yang lebih rendah dan memfasilitasi pemisahan yang lebih baik [6]. Namun, penelitian ini tidak melakukan perbandingan dengan kondisi tanpa *steam*.

Hasil perhitungan neraca panas pada Tabel 3 menunjukkan bahwa *heat loss* yang terjadi pada Kolom C-1 cukup signifikan, yaitu 47,19%. Berdasarkan observasi lapangan, kolom C-1 telah dilapisi dengan isolator. Namun, diduga terjadi penurunan kinerja isolator tersebut akibat faktor usia dan paparan lingkungan, yang menjadi kontributor utama tingginya nilai *heat loss*. Kondisi isolasi termal pada dinding kolom yang sudah tidak optimal ini diduga kuat menyebabkan tingginya *heat loss*. Oleh karena itu, upaya perbaikan yang paling direkomendasikan adalah dengan melakukan inspeksi mendalam dan penggantian pada bagian isolator yang sudah rusak atau tidak efektif untuk menekan *heat loss* dan meningkatkan efisiensi termal kolom.

Efisiensi termal Kolom C-1 yang diperoleh dari evaluasi ini adalah sebesar 52,81%. Untuk menilai kinerja ini, nilai efisiensi tersebut perlu dibandingkan dengan beberapa acuan. Pertama, nilai ini masih berada di atas batas minimal efisiensi 40% [10], sehingga kolom dinilai masih layak operasi. Kedua, jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya di kilang yang sama, efisiensi C-1 ini ternyata lebih rendah dari laporan Amalia & Windi (73,08%) [4] dan Aprilia, dkk (61,45%-71,19%) [6], maupun efisiensi Kolom C-2 (81,66%) [5]. Rendahnya efisiensi ini diduga kuat terkait dengan masalah *heat loss* yang tinggi, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, yang mungkin disebabkan oleh perbedaan kondisi operasi atau kondisi isolasi yang telah menurun sejak penelitian-penelitian terdahulu dilakukan. Ketiga, bila dibandingkan dengan kisaran efisiensi thermal untuk peralatan kilang pada umumnya yaitu 60%-95% [3], nilai 52,81% ini berada di bawah kisaran bawahnya. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat peluang yang sangat besar untuk meningkatkan efisiensi energi Kolom C-1 di masa mendatang.

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis dan hasil dari evaluasi kolom fraksinasi C-1, pada perhitungan dari neraca massa input mendapatkan nilai 225.378,68 kg/hari dan massa output sebesar 225.378,67 kg/hari. Hal ini dapat disimpulkan bahwa neraca massa yang telah dievaluasi pada kolom fraksinasi C-1 mendapatkan nilai *balance* atau *Input* dan *output* sama. Neraca massa menunjukkan keseimbangan sempurna dengan perbedaan hanya 0,01 kg/hari ($\approx 0\%$). Neraca panas menunjukkan *heat loss* sebesar 47,19% dari total panas masuk. Efisiensi operasional kolom fraksinasi C-1 tercatat 52,81%, yang berarti kolom ini bekerja di atas standar efisiensi minimal 40%. Namun demikian, nilai efisiensi ini masih berada di bawah kisaran efisiensi kolom fraksinasi *atmospheric* pada umumnya (60%-95%). Berdasarkan studi literatur, penggunaan *steam* pada proses distilasi atmosferik berperan penting dalam memfasilitasi pemisahan fraksi. Namun, penelitian ini tidak melakukan perbandingan langsung antara operasi dengan dan tanpa *steam*. Dari hasil evaluasi, beberapa upaya yang disarankan untuk meningkatkan efisiensi kolom adalah dengan memastikan isolator panas pada alat agar menghambat keluarnya panas dari sistem melalui penggunaan bahan isolasi yang efektif dan pemeliharaan rutin. Disarankan pula agar pengambilan data dilakukan secara langsung di lapangan dikarenakan jika dilakukan pengambilan pada *control room* data yang didapatkan kurang akurat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. I. Munawaroh, N. Azizah, and M. Subur, "Perhitungan neraca massa dan neraca energi evaporator pada unit kilang PPSDM Migas Cepu," *Jl. Soekarno-Hatta*, vol. 1, pp. 13–19, 2021. [Online]. Available: <http://distilat.polinema.ac.id>. Accessed: Aug. 10, 2024
- [2] A. R. Anggrianto et al., "Evaluasi kolom debutanizer (FLRS T-102) di unit RFCCU PT Pertamina (Persero) Refinery Unit III Plaju-Palembang," *Distilat*, vol. 1, pp. 8–12, 2020. [Online]. Available: <http://distilat.polinema.ac.id>. Accessed: Aug. 10, 2024.
- [3] W. L. Nelson, *Petroleum Refinery Engineering*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1985.
- [4] I. M. Erlinawati, M. Rahman, A. S. Zikri, and Aditya, "Pengaruh jumlah tray dan refluks kolom distilasi pada proses purifikasi metanol," *Journal of Chemical Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 45–52, 2023.
- [5] T. A. Ilhami, A. Takwanto, and R. M. Kusuma, "Evaluasi kinerja kolom fraksinasi C-1 di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas) Cepu," *Distilat*, vol. 2, pp. 297–301, 2021. [Online]. Available: <http://distilat.polinema.ac.id>. Accessed: Aug. 10, 2024.
- [6] M. Fatimura and R. Fitriyanti, "Variasi laju alir kondensat terhadap rendemen minyak atsiri daun kemangi menggunakan metode distilasi steam," *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, vol. 4, no. 1, p. 65, May 2021.
- [7] M. A. Hakim, A. Takwanto, and R. M. Kusuma, "Evaluasi neraca massa kinerja kolom fraksinasi C-1 Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu," *Distilat*, vol. 2, pp. 373–377, 2021. [Online]. Available: <http://distilat.polinema.ac.id>. Accessed: Aug. 10, 2024.
- [8] P. P. Maya, A. R. Dewi, R. Rohmadi, and K. Sa'diyah, "Evaluasi neraca massa dan neraca energi pada proses distilasi atmosferik di unit kilang PPSDM Migas Cepu," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 4, pp. 536–547, Dec. 2023.
- [9] H. Suharta, A. Sayigh, and S. Nasser, "Comparing a way to calculate the heat loss coefficient of solar flat plate collector," in *Proc. ISES Solar World Congress*, 2006.
- [10] T. M. Leib and C. J. Pereira, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 8th ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

Daftar Simbol

Q	=	Panas yang terkandung dalam zat (Btu)
M	=	Massa bahan (lb)
H	=	Entalpi bahan (Btu/lb)
F	=	Umpan yang masuk (Feed)
D	=	Produk Atas (Distillate)
B	=	Produk Bawah (Bottom)