

Evaluasi Kinerja dan Analisa Sistem Pengendali *Temperature* serta *Flowrate* pada Kolom Fraksinasi C-1

Intan Aprilia¹, Risca Taranita¹, Didiek Heru Wuryanto²

¹Politeknik Negeri Malang, Malang

²Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi, Kabupaten Blora

INFORMASI NASKAH

Diterima : 1 September 2024
Direvisi : 15 Februari 2025
Disetujui : 5 Maret 2025
Terbit : 16 Maret 2025

Email korespondensi:
intanparalia12403@gmail.com

Laman daring:
<https://doi.org/10.37525/sp/2025-1/672>

ABSTRAK

Pengolahan *Crude Oil* pada Unit Kilang PPSDM Migas Cepu menggunakan metode distilasi atmosferik pada kolom fraksinasi C1. Produk yang dihasilkan meliputi Pertasol CA, Pertasol CB, Pertasol CC, Solar dan Residu. Pada kolom C1 terjadi pemisahan *crude oil* menjadi pertasol sebagai fraksi ringan dan solar sebagai fraksi berat. Penelitian ini dilakukan untuk melakukan perbandingan terhadap evaluasi pada kinerja kolom fraksinasi C1 di PPSDM Migas Cepu dengan ataupun tanpa menggunakan *steam injection* yang fokus pada analisis neraca massa, neraca panas, serta sistem pengendalian suhu dan aliran *reflux* pada *top* kolom C-1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolom C1 memiliki input 319.276,44 Kg/hari dan output 317.328,15 Kg/hari, dengan losses sebesar 1.948,28 Kg/hari. Sedangkan untuk efisiensi *thermal* kolom C1 meningkat dari 61,45% tanpa *steam injection* dan 71,19% dengan *steam injection*. Penggunaan *steam injection* memberikan dampak peningkatan terhadap efisiensi panas pada kolom fraksinasi C-1. Selain itu, sistem pengendalian yang digunakan pada *Top Column Fractionation* adalah DCS dengan jenis *cascade loop*. Namun, sistem pengendali masih dilakukan secara manual karena adanya kendala pada alat.

Kata kunci: kolom fraksinasi, efisiensi panas, *steam injection*, *cascade*



PENDAHULUAN

Unit Kilang PPSDM Migas Cepu merupakan kilang tertua di Indonesia yang didirikan pada tahun 1894 dengan kapasitas produksi sebesar 600m³/hari atau 3.800 barel. Produk yang dihasilkan meliputi Pertasol CA, Pertasol CB, Pertasol CC, Solar dan Residu. *Crude oil* yang diolah merupakan hasil tambang dari PT. Pertamina EP Region Jawa Area Cepu. Pada proses pengolahan *crude oil* PPSDM Migas Cepu menggunakan metode distilasi atmosferik. Distilasi atmosferik merupakan pemisahan berdasarkan perbedaan titik didih tiap komponen penyusunnya yang dilakukan pada tekanan atmosfer (Maya et al., 2023). Proses distilasi atmosferik terjadi di kolom fraksinasi. Terdapat dua buah kolom fraksinasi pada unit kilang yakni kolom fraksinasi C1 dan C2. Kolom fraksinasi C1 digunakan untuk memisahkan solar sebagai *bottom product* dan pertasol sebagai *top product*. Agar produk yang dihasilkan sesuai spesifikasi maka perlu dilakukan evaluasi terhadap kinerja C1 melalui metode perhitungan neraca massa dan neraca panas serta pengamatan terhadap sistem kontrol khususnya variabel *temperature* dan *flow*. Hal ini dapat membantu dalam mencegah terjadinya *trouble* atau permasalahan yang akan terjadi sedini mungkin.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rozikin (2022) terhadap kinerja kolom fraksinasi C1 dengan menggunakan *steam* didapatkan *heatloss* sebesar 47.142.099 Btu/hari dengan efisiensi kolom sebesar 86,53%. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Kirana & Maulana (2020) di tahun berikutnya terkait evaluasi kinerja terhadap kolom fraksinasi didapatkan nilai efisiensi lebih baik dibandingkan tahun sebelumnya yakni sebesar 92,9% dengan jumlah *heatloss* sebesar 25.755.990,41 Btu/hari. Sedangkan penelitian terkait sistem pengendali yang dilakukan oleh Desy & Puspaningrum (n.d.) bertujuan untuk menganalisis kestabilan sistem pengendalian pada *top* kolom fraksinasi C-1 guna mengetahui karakteristik dari sistem pengendalian tersebut. Dari penelitian ini didapatkan bahwa sistem pengendali menggunakan jenis konfigurasi *cascade* dengan TIC-08 sebagai *master controller* sedangkan FIC-06 sebagai *slave controller*. Berdasarkan hasil analisa *existing* proses didapatkan nilai kestabilan yang baik pada *master loop* maupun *slave loop*.

Berdasarkan penelitian terdahulu, maka pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan evaluasi kinerja kolom fraksinasi dengan ataupun tanpa bantuan *steam injection* menggunakan neraca massa dan neraca panas serta pengamatan terhadap sistem kontrol khususnya variabel *temperature* dan *flow* pada *top* kolom fraksinasi C-1. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh serta membandingkan adanya penggunaan *steam* terhadap nilai efisiensi peralatan kolom fraksinasi C-1 sebagai kondisi operasi terbaik yang dapat diimplementasikan. Selain itu, adanya analisa pada sistem kontrol bisa dijadikan acuan untuk memperbaiki performa sistem pengendalian yang ada.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penyelesaian penelitian ini adalah metode data lapangan, studi literatur dan metode perhitungan. Adapun tahapan dari penelitian ini dimulai dengan mencari literatur yang sesuai, pengumpulan data pada kolom fraksinasi C-1 di PPSDM Migas Cepu, dilanjutkan tahap perhitungan neraca massa dan neraca panas, serta efisiensi kolom fraksinasi C-1 untuk melakukan analisis kinerja kolom fraksinasi C-1. Berdasarkan data analisis dapat dibuat kesimpulan mengenai kinerja kolom fraksinasi C-1.

A. Studi Literatur

Metode studi literatur merupakan metode pendekatan terkait mengumpulkan, mengevaluasi, serta memahami informasi yang didapatkan dari berbagai sumber literatur yang sejalan dengan penelitian. Literatur yang kami gunakan meliputi jurnal ilmiah, *website*, buku, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan kolom fraksinasi, efisiensi *thermal*, neraca massa, neraca panas, *steam injection*, dan sistem pengendali.

B. Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data di penelitian ini adalah dengan metode observasi serta wawancara langsung yang dilakukan di unit kilang PPSDM Migas serta metode studi literatur untuk



memperoleh data primer maupun data sekunder. Data lapangan yang diperoleh pada saat observasi diambil pada tanggal 6 s.d. 8 Agustus 2024. Data yang didapat dari observasi lapangan meliputi data hasil uji laboratorium Penguji Hail Produksi (PHP), kondisi operasi, dan data produk yang dihasilkan. Sementara itu, data literatur meliputi kebutuhan *steam crude oil*, data API (*American Petroleum Institute*), entalpi bahan dan produk serta grafik ASTM, dan EFV yang didapatkan dari berbagai literatur.

C. Metode Perhitungan

Dalam menentukan efisiensi kolom fraksinasi C-1 terdapat dua metode yang bisa digunakan yakni *inderect method* dan *direct method*. Perhitungan dengan *inderect method* dilakukan dengan menghitung panas yang hilang (*heatloss*) selama proses berlangsung sedangkan *direct method* dilakukan dengan cara membandingkan panas yang masuk ke sistem kolom fraksinasi C-1 dengan panas yang keluar dari sistem (Ilhami et al., n.d.). Pada penelitian ini menggunakan *direct method* untuk menghitung efisiensi panas kolom fraksinasi C-1. Langkah pertama dalam metode perhitungan ini adalah menghitung neraca masa,

1) Perhitungan Neraca Massa

Dalam perhitungan neraca massa perlu diperhatikan jenis prosesnya, untuk proses yang menggunakan reaksi kimia akan berbeda perhitungannya dengan jenis proses tanpa reaksi kimia. Pada penelitian ini proses yang terlibat terjadi tanpa reaksi kimia sehingga perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut

Untuk menghitung neraca massa diperlukan menghitung *mass flow* menggunakan persamaan Geankoplis (2003) sebagai berikut:

$$m = Q \times \rho$$

Dimana,

m = mass flow rate (kg/jam)

ρ = densitas (kg/m³)

Q = flowrate fluida

Dilanjutkan menghitung neraca massa total dengan persamaan

$$\text{Input} = \text{Output}$$

$$\text{Reflux C1} + \text{Top product C4} + \text{Top product C5} + \text{steam} = \text{top product C1} + \text{bottom product C1}$$

2) Perhitungan Neraca Panas

Perhitungan neraca panas dapat digunakan persamaan dari Geankoplis (2003).

$$Q = m \times \Delta H$$

Dimana

Q = jumlah panas (J)

m = massa (kg)

ΔH = perubahan entalpi (J)

Dalam menentukan entalpi pada komponen *petroleum* digunakan rumus pada buku *Petroleum Refinery Engineering* karya Nelson (Nelson, 1958).

$$H_{\text{vap}} = H - K_{\text{uop}} - \text{koreksi } P$$

$$H_{\text{liquid}} = H \times K_{\text{uop}}$$

Setelah melakukan perhitungan neraca panas dapat diketahui jumlah panas yang masuk dan jumlah

panas yang keluar sehingga dapat ditentukan *heatloss* atau panas yang hilang menggunakan persamaan berikut

$$Q_{loss} = Q_{in} - Q_{out}$$

$$\% Q_{loss} = \frac{Q_{loss}}{Q_{in}} \times 100\%$$

Dimana

- Q_{loss} = panas yang hilang
- Q_{in} = panas yang masuk
- Q_{out} = panas yang keluar

Kemudian setelah mendapatkan persentase panas yang hilang dilanjutkan menghitung efisiensi panas pada kolom C1 menggunakan persamaan:

$$Efisiensi = 100\% - \%Q_{loss}$$

Dari nilai efisiensi ini kemudian dianalisis kesesuaiannya dengan efisiensi termal oleh Nelson (1964) bahwa jumlah efisiensi *thermal* berkisar antara 60-80 % dan minimal 40% menurut buku *Perry's Chemical Engineers*(H. Perry, 1934).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Tabel 1. Data Produk Rata-Rata Unit Kilang Tanggal 6-8 Agustus 2024

Material	Rate (L/hari)	% VOL	Mass (Kg/hari)	Density 15 (Kg/L)	SG 60/60
Crude oil	278.377	100	233.252	0,8379	0,838
PCA	6.192	2,22	4.542	0,7335	0,734
PCB	41.912	15,06	32.223	0,7683	0,749
PCC	-	-		-	
Solar	171.094	61,44	142.341	0,8321	0,833
Residu	57.394	20,62	52.198	0,9094	0,910
Jumlah	276.546	99,34	231.304		
Losses	1.831	0,66	1.948		

Tabel 2. Rata-Rata Kondisi Operasi Tanggal 6-8 Agustus 2024

Kolom 1	
Temperature Top (°C)	112,333
Pressure Top (kg/cm ²)	0,0173
Discharger pump reflux (kg/cm ²)	1,5
Refluks (m ³ /hari)	136,433
Kolom 2	
Temperature Top (°C)	75,533
Pressure Top (kg/cm ²)	0,0513
Discharger pump reflux (kg/cm ²)	1,1
Refluks (m ³ /hari)	53,766
Kolom 3	
Temperature Top (°C)	-
Kolom 4	
Temperature Top (°C)	169,333
Kolom 5	
Temperature Top (°C)	184,633
Evaporator	
Temperature Top (°C)	319,1
Temperature Masuk (°C)	313,733
Pressure Top (kg/cm ²)	0,160
Pressure Masuk (kg/cm ²)	0,135



Tabel 3. Neraca Massa Kolom Fraksinasi C-1

Komponen	Input (Kg/hari)	Output (Kg/hari)
Umpan masuk		
<i>Top Evaporator</i>	165.806,32	
<i>Top C-5</i>	15.248,14	
<i>Top C-4</i>	6.240,42	
<i>Reflux PCB</i>	104.894,49	
<i>Steam total</i>	27.087,06	27.087,06
<i>Top Product</i>		141.659,49
<i>Bottom Product</i>		148.581,42
Jumlah	319.276,44	317.328,15
<i>Losses</i>		1.948,28

Tabel 4. Neraca Panas Kolom Fraksinasi C-1

Komponen	Input (Btu/jam)	Output (Btu/jam)
Umpan masuk		
<i>Top Evaporator</i>	6.609.521	
<i>Top C-5</i>	425.808	
<i>Top C-4</i>	161.367	
<i>Reflux PCB</i>	472.141	
<i>Steam total</i>	3.031.696,50	2.894.800,80
<i>Top Product</i>		890.245
<i>Bottom Product</i>		3.821.604
Jumlah	10.700.533	7.606.650
<i>Losses</i>		3.093.884

Tabel 5. Neraca Panas Kolom Fraksinasi C-1 tanpa *Steam*

Komponen	Input (Btu/jam)	Output (Btu/jam)
Umpan masuk		
<i>Top Evaporator</i>	6.609.521	
<i>Top C-5</i>	425.808	
<i>Top C-4</i>	161.367	
<i>Reflux PCB</i>	472.141	
<i>Top Product</i>		890.245
<i>Bottom Product</i>		3.821.604
Jumlah	7.668.836,98	4.711.848,98
<i>Losses</i>		2.956.987,99

B. Pembahasan

1. Efisiensi Kolom Fraksinasi C-1

Data pengamatan diambil yang pada rentang waktu 6 hingga 8 Agustus 2024 meliputi data kondisi operasi alat utama serta data produk dalam Unit Kilang. Data kondisi operasi digunakan untuk perhitungan neraca panas, sedangkan data produk digunakan untuk perhitungan neraca massa. Dalam pengambilan serta pengolahan data, terdapat beberapa data asumsi karena kurangnya alat indikator dalam Unit Kilang PPSDM Migas Cepu seperti indikator suhu pada *bottom product* kolom fraksinasi C-1, C-2, dan evaporator. Data asumsi yang digunakan merujuk pada PFD Unit Kilang PPSDM Migas Cepu serta beberapa literatur yang ada. Pada Unit Kilang PPSDM Migas Cepu, unit boiler tidak dioperasikan sehingga dalam proses produksi tidak menggunakan *steam injection* dan hanya menjaga kondisi operasi alat tetap stabil dengan mengendalikan *variable control* serta memanfaatkan isolator untuk mencegah *heatloss* terlalu besar.

Pada penelitian kami, akan dilakukan perbandingan evaluasi perhitungan terhadap neraca massa dan neraca panas antara dengan ataupun tanpa menggunakan *steam injection* untuk melihat kinerja kolom fraksinasi C-1. Data *steam injection* didapatkan pada unit kilang yang berkisar 130-150 °C dengan tekanan 1 kg/cm². Sedangkan, data kebutuhan *steam* dihitung berdasar literatur *Petroleum Refinery Engineering* yang ditulis oleh Nelson (1958) dengan trayek tengah. Berdasarkan data Tabel 1, secara keseluruhan neraca massa pada unit kilang sudah *balance* dimana *input* sama dengan *output* ditambah *losses* yang ada. Dengan data laju massa pada Tabel 1, maka diperlukan perhitungan neraca massa pada alat utama lainnya seperti evaporator, *stripper* C-5 dan C-4 untuk menghitung neraca massa kolom fraksinasi C-1. Neraca massa kolom fraksinasi C-1 dalam Tabel 3. sudah *balance* dimana inputnya sebesar 319.276,44 Kg/hari dan outputnya 317.328,15 Kg/hari dengan *losses* 1.948,28 Kg/hari.

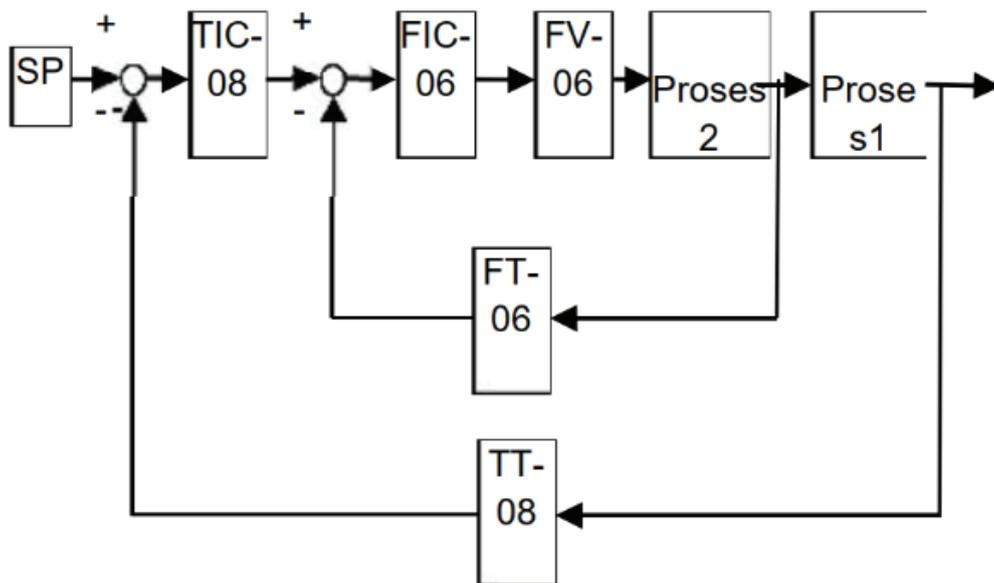
Efisiensi *thermal* pada kolom fraksinasi C-1 dengan menggunakan *steam injection* berdasar data Tabel 4. sebesar 71,11% dengan *heat loss* 28,81%. Sedangkan efisiensi *thermal* kolom C-1 pada kondisi *real* atau tidak menggunakan *steam injection* sebesar 61,45% dengan *heat loss* sebesar 38,55%. Efisiensi *thermal* dengan menggunakan *steam* lebih tinggi dibandingkan efisiensi *thermal* pada kondisi *real*. Hal ini dikarenakan, penggunaan *steam injection* berfungsi untuk meningkatkan *heat efficiency* dimana pada trayek laju alir *steam* tertentu yang digunakan dapat mendistribusikan panas secara tepat dan merata (Sun et al., 2017). Menurut penelitian Allawzi & Al-Jarrah (2008), pada *temperature steam injection* yang digunakan dapat menurunkan viskositas minyak mentah sehingga minyak mentah mudah bergerak. Didukung oleh penelitian Bradtmöller & Scholl (2015), bahwasannya viskositas rendah akan meningkatkan nilai efisiensi pemisahan pada kolom distilasi. Selain itu, adanya tekanan yang diinjeksikan melalui *steam* akan mendorong *feed* untuk berkontak langsung dengan cairan yang ada pada *tray* sehingga terjadi transfer panas secara cepat dan tepat. Oleh karena itu, *Heat efficiency* pada kolom fraksinasi C-1 dapat ditingkatkan.

Efisiensi alat kolom fraksinasi berdasarkan efisiensi panas menurut Nelson (1958) dalam karyanya yakni *Petroleum Refinery Engineering* berkisar pada 60-80%, sedangkan menurut H. Perry (1934) efisiensi panas minimum adalah 40%. Sehingga berdasarkan nilai efisiensi panas yang didapat per bulan Agustus 2024, kolom fraksinasi C-1 PPSDM Migas Cepu masih layak digunakan baik pada kondisi *real* maupun menggunakan *steam injection*. Selain itu, besar *heat loss* yang terjadi dapat disebabkan oleh desain alat, kondisi operasi seperti perbedaan suhu yang cukup signifikan, menurunnya kinerja isolator, kondisi alat karena sudah digunakan selama berpuluh-puluh tahun (Maya et al., 2023). Ditinjau dari aspek yang dapat menyebabkan *heat loss*, perlu dilakukan perawatan pada unit kilang, menjaga isolator, memasang alat indikator dan meng-*upgrade* sistem manual menjadi otomatis pada sistem pengendali, serta melakukan pengecekan dan perawatan rutin pada Unit Kilang PPSDM Migas Cepu untuk menjaga efisiensi alat serta mencegah dari kerusakan alat yang berpengaruh pada produk yang dihasilkan.

2. Analisa Sistem Pengendali pada *Top* Kolom Fraksinasi C-1

Dalam menjalankan pengoperasian Unit Kilang PPSDM Migas Cepu digunakan sistem pengendali pada *controll room* dengan jenis DCS (*Distributed Control System*) dimana elemen kontroler tersebar diseluruh unit kilang PPSDM Migas Cepu. Penggunaan sistem DCS memang populer untuk *control system* yang kompleks serta terdiri dari banyak *loop*. Sistem pengendali pada unit kilang terdiri atas pengendalian *temperature*, *flow*, *pressure* dan *level*. Pada *top* kolom fraksinasi C-1, sistem pengendalian yang penting adalah pengendali suhu dan laju alir. Laju alir yang dikendalikan pada kolom fraksinasi berupa aliran *reflux* PCB yang masuk dari *top tray* menuju *tray* dibawahnya. Pengendalian laju alir refruks PCB akan mempengaruhi nilai *temperature* pada *top* kolom fraksinasi C-1.





Gambar 1. Blok Diagram Temperature Atas Kolom Fraksinasi C-1

Jenis sistem pengendalian *temperature* dan *flow rate* pada *top* kolom fraksinasi C-1 menggunakan rangkain *cascade*. Penggunaan *cascade* bertujuan untuk memberi koreksi sedini mungkin pada saat *loop* sekunder terkena gangguan atau *distrubance* sebelum mengakibatkan gangguan pada *loop* primer juga dan dengan sistem ini akan mempercepat sistem *control* secara keseluruhan (Chew et al., 2020). *Cascade* pada unit PPSDM Migas terdiri dari dua *loop* yakni *loop* primer dan *loop* sekunder, dimana *loop* primer ada pada pengendali suhu dan *loop* sekunder ada pada pengendali *flow rate* refluks PCB. *Output* dari *loop* primer yakni *temperature* akan di ukur menggunakan sensor TE-08 dimana signal sensor akan ditangkap oleh *Temperature Transmitter* TT-08 dan diubah menjadi *signal* standar yang disebut sebagai PV. PV akan dibandingkan dengan SP (*Set Point*) oleh *Temperature Indicator Controller* (TIC-08) sehingga akan didapat nilai *error*. Nilai *error* akan menentukan perubahan aliran refluks atau MV (*Manipulated Variable*). Nilai MV dari TIC-08 akan menjadi SP untuk *loop* sekunder (laku alir refluks PCB). *Out put* dari *loop* sekunder berupa laju alir refluks PCB yang diukur menggunakan sensor FE-06 akan ditangkap oleh *Flow Transmitter* FT-06 dan diubah menjadi PV. PV dari *loop* sekunder kemudian dibandingkan dengan SP dari MV TIC-08 oleh *Flow Indicator Controller* FIC-06. *Error* yang didapat dari FIC-06 akan menentukan besaran nilai MV pada *Flow Valve* FV-06.

Pada sistem pengendali *cascade* PPSDM Migas Cepu masih dilakukan secara manual, dimana ketika terjadi *error* pada *loop* primer (*temperature*) maka operator harus mengganti nilai MV pada *loop* sekunder. MV *loop* sekunder akan dirubah sekitas 3-4% apabila terjadi *error* pada *loop* primer. Pengendali pada PPSDM Migas Cepu sangat bergantung pada keterampilan operator, karena operator harus memantau monitor setiap saat. Ditinjau dari aspek efisiensi dan kepraktisannya, sistem *cascade* secara manual kurang efektif. Seharusnya sistem pengendali *cascade* dilakukan dengan otomatis, sayangnya sistem pengendali mode otomastis pada *control room* PPSDM Migas Cepu tidak bekerja dengan baik.

KESIMPULAN

Efisiensi panas yang didapat berdasarkan perhitungan neraca panas pada kolom fraksinasi C-1 dengan menggunakan *steam* adalah 71,09%, sedangkan efisiensi panas yang didapat ketika tidak menggunakan *steam* adalah 61,45%. Penggunaan *steam injection* pada kolom fraksinasi memiliki nilai efisiensi yang lebih baik. Berdasarkan efisiensi minimum menurut “*Petroleum Refinery Engineering*”

oleh Nelson (1958) yakni 60-80% dan menurut *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th* efisiensi panas minimum adalah 40%, maka kolom fraksinasi C-1 pada Unit Kilang PPSDM Migas Cepu masih sangat layak digunakan. Sedangkan pada, sistem pengendali pada PPSDM Migas Cepu menggunakan *Controller DCS (Distributed Control System)*. Pada Kolom Fraksinasi C-1 khususnya pada bagian *top* kolom menggunakan sistem pengendali *cascade temperature* dan *flowrate* dimana variabel suhu menjadi *loop primer* dan variabel *flowrate* menjadi *loop* sekunder. Sistem ini masih dilakukan secara manual dimana MV pada *loop* sekunder akan dirubah manual ketika terjadi *error* pada *loop* primer.

DAFTAR PUSTAKA

- Allawzi, M. A., & Al-Jarrah, N. (2008). Study of the Effect of Steam Injection on Crude Oil Displacement Yield from an Oil Contaminated Soil Bed. In *Jordan Journal of Civil Engineering* (Vol. 2, Issue 3).
- Bradtmöller, C., & Scholl, S. (2015). Geometry and viscosity effects on separation efficiency in distillation. *Chemical Engineering Research and Design*, 99, 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.03.013>
- Chew, I. M., Wong, F., Bono, A., Nandong, J., & Wong, K. I. (2020). Genetic algorithm optimization analysis for temperature control system using cascade control *loop* model. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 9(1), 119–128. <https://doi.org/10.12785/ijcds/090112>
- Desy, K., & Puspaningrum, S. (n.d.). *ANALISA KESTABILAN PENGENDALIAN TEMPERATURE PADA TOP KOLOM FRAKSINASI DI KILANG PUSDIKLAT MIGAS DENGAN KRITERIA KESTABILAN NYQUIST* (Vol. 05, Issue 4).
- Geankoplis, C. J. (2003). *Transport Processes and Separation Process Principles* (4th ed.). Prentice Hall.
- H. Perry, R. (1934). *Perry's Chemical Engineer's Handbook Seventh Edition* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Ilhami, T. A., Takwanto, A., & Mahendra Kusuma, R. (n.d.). *EVALUASI KINERJA KOLOM FRAKSINASI C-1 DI PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM MIGAS) CEPU*. 2021(2), 297–301. <http://distilat.polinema.ac.id>
- Kirana, B. A., & Maulana, M. R. (2020). *Evaluasi Kinerja Kolom Fraksinasi(C-1) di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Gas (PPSDM MIGAS) Cepu*.
- Maya, P. P., Dewi, A. R., Rohmadi, R., & Sa'diyah, K. (2023). EVALUASI NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI PADA PROSES DISTILASI ATMOSFERIK DI UNIT KILANG PPSDM MIGAS CEPU. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(4), 536–547. <https://doi.org/10.33795/distilat.v9i4.4184>
- Nelson, W. L. (1958). *Petroleum Refinery Engineering* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Rozikin, M. F. (2022). *Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi pada Kolom Fraksinasi C-1 Unit Kilang*.
- Sun, F., Yao, Y., Chen, M., Li, X., Zhao, L., Meng, Y., Sun, Z., Zhang, T., & Feng, D. (2017). Performance analysis of superheated steam injection for heavy oil recovery and modeling of wellbore heat efficiency. *Energy*, 125, 795–804. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.114>

