

ESTIMASI TEMPERATUR *CONDENSOR REFLUX* (136 H09) PADA *REGENERATION UNIT* UNTUK PENGHEMATAN KONSUMSI TEG

Tessa Audia Linarta, Christyfani Sindhuwati, Hardjono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia
tessaaudia20@gmail.com, [c.sindhuwati@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Proses dehidrasi merupakan salah satu proses yang sering dijumpai pada pabrik pengolahan gas alam. TEG (*triethylene glycol*) merupakan senyawa *Glycol* yang biasa digunakan pada proses dehidrasi gas alam. TEG dimanfaatkan sebagai *absorben* pada absorpsi air yang masih terkandung dalam gas alam yang bisa menyebabkan *hydrate* dan korosi. Proses absorpsi ini dilakukan di TEG *contactor*, TEG yang sudah digunakan akan dilakukan regenerasi, jika sudah di regenerasi maka TEG akan digunakan kembali. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan proses estimasi temperatur yang sesuai untuk proses absorpsi unit regenerasi TEG, karena banyak TEG *loss* pada proses ini. TEG *loss* terjadi di TEG *regenerator* dan biasanya disebabkan oleh temperatur kondensor refluks yang kurang tepat sehingga menyebabkan TEG teruapkan keluar ke atmosfer bersama uap air. Kehilangan TEG adalah masalah bagi operasi yang penting dalam sistem dehidrasi. Langkah yang digunakan untuk mengurangi TEG *loss* adalah dengan melakukan estimasi temperatur dari *condensor* refluks dibuat menjadi 100°C dengan cara mengubah temperatur reboiler dari 190°C menjadi 197,3°C.

Kata kunci: *Absorpsi, Relux kondensor, Metode FUG, Ms Excel, TEG*

ABSTRACT

The dehydration process is one of the processes that is often found in natural gas processing plants. TEG (triethylene glycol) is a glycol compound commonly used in natural gas dehydration processes. TEG is used as an absorbent for water absorption which is still contained in natural gas which can cause hydrate and corrosion. This absorption process is carried out at the TEG contactor, the TEG that has been used will be regenerated, if it has been regenerated, the TEG will be used again. The purpose of this research is to estimate the appropriate temperature for the TEG regeneration unit absorption process, because there are many TEG losses in this process. TEG losses occur in the TEG regenerator and are usually caused by the temperature of the reflux condenser which is not quite right, causing the TEG to be evaporated out into the atmosphere with water vapor. Losing the TEG is a problem for critical operations in dehydrated systems. The step used to reduce TEG losses is to heat the temperature of the condenser to 100°C by changing the reboiler temperature from 190°C to 197.3°C.

Keyword: *Absorption, Reflux Condenser, FUG Method, Ms Excel, TEG*

1. PENDAHULUAN

Kualitas dan kuantitas gas alam dipengaruhi oleh kadar air, untuk mendapatkan kuantitas dan kualitas gas alam yang baik maka diperlukan proses penghilangan uap air. Kadar air yang masih terkandung dalam gas alam dapat menyebabkan terbentuknya hidrat yang berupa kristal yang bersifat korosif yang dapat menyebabkan tersumbatnya pipa dan peralatan lainnya yang digunakan.

Proses menghilangkan uap air dari gas alam disebut dehidrasi. Terdapat dua macam proses dehidrasi yaitu, dehidrasi secara adsorpsi dan dehidrasi secara absorpsi. Dehidrasi adsorpsi yaitu proses penyerapan uap air yang menggunakan adsorben padatan. Adsorben padatan yang sering digunakan dalam proses dehidrasi adsorpsi adalah silika. Dehidrasi absorpsi yaitu proses pemisahan uap air dengan menggunakan bahan penyerap cairan. Larutan yang dapat digunakan sebagai penyerap cair adalah TEG [1].

TEG sering digunakan produsen gas untuk menghilangkan uap air yang masih terkandung dalam aliran gas alam [2] menghilangkan air dengan cara fisik seperti distilasi [3]. Proses penyerapan uap air menggunakan TEG dilakukan pada TEG *contactor*. TEG yang sudah pakai pada proses TEG *contactor* akan di regenerasi di TEG regenerator. TEG regenerator berfungsi untuk meregenerasi *rich* TEG menjadi *Lean* TEG yang dapat digunakan kembali di TEG *Contactor*. *Rich TEG* adalah TEG yang mengandung banyak air karena telah terpakai untuk proses pengeringan gas alam, sedangkan *Lean TEG* adalah TEG yang masih bersih, yang belum menyerap gas alam [4].

TEG loss pada TEG regenerator kerap terjadi, hal tersebut dapat mengakibatkan kerugian besar bagi perusahaan. Kerugian yang dialami perusahaan dari hilangnya TEG berimbas pada keuangan perusahaan. Kerugian TEG yang sering terjadi kerap kali mencapai 0,5 – 2,15 Gal/MMscf pada gas alam yang diolah. TEG loss pada angka tersebut dikategorikan sangat besar dikarenakan TEG loss yang ditetapkan oleh perusahaan tidak lebih dari 0,2 Gal/MMscf [5].

TEG loss yang di terjadi di TEG regenerator disebabkan oleh temperatur *condensor* refluks yang tidak sesuai sehingga menyebabkan TEG teruapkan keluar ke atmosfer bersama uap air [6], estimasi temperature kondensor refluks merupakan salah satu cara penting yang dapat digunakan untuk menentukan temperatur *condenser* refluks dengan tujuan meminimalisir TEG loss, karena kondisi operasi yang tepat dalam proses distilasi akan memberikan hasil yang baik terhadap produk [7]. Pentingnya penelitian ini dilakukan karena untuk meminimalisir kehilangan TEG sehingga kerugian yang dialami perusahaan berkurang pada masalah finansialnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menentukan kondisi temperatur refluks kondensor dilakukan simulasi prediksi temperatur refluks menggunakan bantuan microsoft excel dengan melakukan perhitungan yang menggunakan metode FUG (*Fenske Underwood Gilliland*). Perhitungan menggunakan metode ini sering digunakan untuk perancangan kolom distilasi. Distilasi adalah salah satu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan (volatilitas) bahan [8].

2.1. Metode Perhitungan Menggunakan Ms. Excel Dengan Metode FUG

Pada penelitian ini dilakukan estimasi temperatur atau perhitungan yang bertujuan untuk mengetahui berapa temperatur refluks kondensor yang pas dan layak untuk digunakan. Langkah perhitungan yang akan dilakukan meliputi.

2.1.1 Perhitungan Menentukan Fraksi Setiap Komponen

Untuk menentukan fraksi setiap komponen, perlu data Berat molekul setiap komponen, sehingga nanti bisa menghitung % mol, massa setiap komponen dalam satuan (kg), mol dalam satuan (kmol), dan fraksi setiap komponen.

2.1.2 Perhitungan Menentukan Konstanta Antoine Sesuai Dengan Komponen Yang Digunakan

Untuk menentukan konstanta antoine kita harus menyesuaikan satuan temperatur dan tekanan pada proses yang digunakan.

2.1.3 Perhitungan Menentukan Temperatur Tebak Dengan Menggunakan *Goalseek* Pada Proses *Feed*

Untuk menentukan temperatur tebak pada *feed*, perlu data fraksi setiap komponen dan tekanan pada *feed*, sehingga nanti bisa menghitung P_i (bar), K_i , α_i , $\alpha_i X_f$, Y_f , dan $\log \alpha_i$. Untuk menentukan T tebak, total pada poin Y_f di *goal seek*, sehingga nanti bisa ketemu T tebak.

2.1.4 Perhitungan Asumsi Distribusi Antara *Bottom* 98,8% Dan Distilat 98%

Untuk menentukan distribusi pada *bottom* dan distilat, diasumsikan *bottom* 98,8% dan distilat 98%. Sehingga nanti bisa menghitung Mol D, Mol B, $\log (D/B)$, dan $\log \alpha$.

2.1.5 Perhitungan Plot Grafik

Setelah mengasumsikan jumlah *bottom* dan distilat selanjutnya membuat grafik antara $\log (D/B)$ dan $\log \alpha$, dan menampilkan *slope* dan *intercept*. Hasil *slope* dan *intercept* akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

2.1.6 Perhitungan Temperatur *Bubble* Dan *Dew Point* Distilat

Sebelum menentukan temperatur *bubble* dan *dew point* distilat [9], maka harus menghitung X_d terlebih dahulu, sebelum menentukan X_d maka perlu data $\log \alpha_i$, $\log (D/B)$, (D/B) dan $K_{mol D}$.

2.1.7 Perhitungan Pendistribusian Komponen

Sebelum perhitungan pendistribusian komponen perlu pemilihan *Light* dan *Heavy key* terlebih dahulu [10], setelah itu menghitung $\frac{D \times x_D}{F \times X_F}$ dengan bantuan data X_f dan X_d , maka bisa menentukan pendistribusian setiap komponennya.

2.1.8 Perhitungan *Bubble Point* Distilat

Untuk menentukan T tebak *bubble point* distilat perlu data P_{enrich} dan X_d , sehingga nanti bisa menghitung P_i (bar), K_i , dan Y_d . Untuk menentukan T tebak *bubble point* distilat maka total pada poin Y_d di *goal seek* dan T tebak bisa terhitung.

2.1.9 Perhitungan *Dew Point* Distilat

Untuk menentukan T tebak *Dew point* distilat perlu data P_{enrich} dan Y_d , sehingga nanti bisa menghitung P_i (bar), K_i , dan X_d . Untuk menentukan T tebak *dew point* distilat maka total pada poin X_d di *goal seek* dan T tebak bisa terhitung.

2.1.10 Perhitungan Mencari *Bubble Point* Dan *Dew Point* *Bottom*

Sebelum mencari *dew point* dan *bubble point* *bottom*, terlebih dahulu menghitung $K_{mol B}$ dan X_b , lalu menghitung *bubble point* *bottom*.

2.1.11 Perhitungan *Bubble Point Bottom*

Untuk menentukan T tebak *bubble point* dari *bottom product* perlu data P *enriching* dan X_b , sehingga nanti bisa menghitung P_i (bar), K_i , dan Y_b . Untuk menentukan T tebak *bubble point* distilat maka total pada poin Y_b di *goal seek* dan T tebak bisa terhitung

2.1.12 Perhitungan *Dew Point Bottom*

Untuk menentukan T tebak *dew point bottom* perlu data P *enrich* dan Y_d , sehingga nanti bisa menghitung P_i (bar), K_i , dan X_b . Untuk menentukan T tebak *dew point bottom* maka total pada poin X_b di *goal seek* dan T tebak bisa terhitung

2.1.13 Perhitungan Komposisi *Vapor, Cair Distilat Dan Bottom Berdasarkan VLE*

Pada perhitungan ini mencantumkan hasil perhitungan X_f dan Y_f untuk *feed*, dan hasil perhitungan X_d dan Y_d untuk distilat

2.1.14 Perhitungan Komponen Dalam Mol Di *Feed, Distilat Dan Bottom*

Pada perhitungan ini mencantumkan hasil perhitungan X_f dan n_f dalam mol di *feed*, X_d dan n_d dalam mol di distilat, dan X_b dan Y_b dalam mol di *bottom*. Kemudian menjumlah total setiap mol di *feed*, distilat dan *bottom*

2.1.15 Perhitungan Neraca Massa

Sebelum menghitung neraca massa antara *feed* dan distilat diperlukan data BM setiap komponen terlebih dahulu, baru mulai menghitung neraca massa antara *feed*, distilat dan *bottom*. Apabila total massa *feed* sama dengan total antara massa distilat dengan massa *bottom*, maka perhitungan dianggap sudah benar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan menggunakan Microsoft *Excel* dengan metode *FUG* sebagai berikut:

Tabel 1. Fraksi tiap komponen

Komponen	BM	% Mol	Massa (kg)	Mol (kmol)	X_f
H ₂ O (LK)	18,020	29,380	378,11719	20,9832	0,29653
TEG (HK)	150,174	69,700	7475,62267	49,7797	0,70347
Jumlah				70,7629	1,0000

Tabel 2. Konstanta *Antoine*

Komponen	<i>Boiling Point</i> (°C)	A	B	C
H ₂ O (LK)	100	8,14019	1810,94	244,85
TEG (HK)	285	7,404435	1881,474	240,666

Tabel 3. Mencari temperatur tebak proses *feed*

Komponen	X_f	P_i (bar)	K_i	α_i	$\alpha_i \cdot X_f$	Y_f	$\text{Log } \alpha_i$
H ₂ O (LK)	0,2965	13,6857	2,6471	8,6660	2,5697	0,7850	0,937819
TEG (HK)	0,7035	1,5792	0,3055	1,0000	0,7035	0,2149	0
Jumlah	1,0000					1,00	

* Pada perhitungan ini diperoleh T tebak sebesar 193,87°C

Tabel 4. Asumsi distribusi distilat dan *bottom*

Komponen	Mol D	Mol B	Mol (D/B)	Log (D/B)	$\text{Log } \alpha$
H ₂ O (LK)	20,7734	0,2518	85,5000	1,9165	0,9378
TEG (HK)	0,4978	49,1824	0,0101	-1,9948	0

* Pada perhitungan ini diasumsikan H₂O di *overhead* 98% TEG di *bottom* 98,8%

Tabel 5. Mencari temperatur *bubble* dan *dew point* distilat

Komponen	$\text{Log } \alpha_i$	Log (D/B)	(D/B)	Kmol D	x_D
H ₂ O (LK)	0,9378	1,9165	82,5000	20,7319	0,9765
TEG (HK)	0,0000	-1,9948	0,0101	0,4988	0,0235
Jumlah	0,9378			21,2307	1,000

Tabel 6. Penentuan pendistribusian komponen

Komponen	X_f	x_D	$\frac{D \cdot x_D}{F \cdot X_f}$	Keterangan
H ₂ O (LK)	0,2965	0,9765	0,98802	Terdistribusi
TEG (HK)	0,7035	0,0235	0,01002	Terdistribusi
Jumlah	1,0000	1,0000		

Tabel 7. Mencari temperatur *bubble point* distilat

Komponen	x_D	P_i (bar)	K_i	Y_D
H ₂ O (LK)	0,9765	1,0421	1,0421	1,0177
TEG (HK)	0,0235	0,1026	0,1026	0,0024
Jumlah	1,000			1,0201

* Pada perhitungan ini diperoleh T tebak sebesar 100,3464 pada tekanan 1 bar

Tabel 8. Mencari temperatur *dew point* distilat

Komponen	y_D	P_i (bar)	K_i	x_D
H ₂ O (LK)	1,0177	1,0423	1,0423	0,9763
TEG (HK)	0,0024	0,1026	0,1026	0,0235
Jumlah	1,0201			0,9998

* Pada perhitungan ini diperoleh T tebak sebesar 100,351°C pada tekanan 1 bar

Tabel 9. Mencari temperatur *bubble point bottom*

Komponen	x_B	P_i (bar)	K_i	y_B
H ₂ O (LK)	0,0051	14,7639	14,7639	0,0749
TEG (HK)	0,9949	1,7113	1,7113	1,7026
Jumlah	1,0000			1,7775

* Pada perhitungan ini diperoleh T tebak sebesar 197,393°C pada tekanan 1 bar

Tabel 10. Mencari temperatur *dew point bottom*

Komponen	y_B	P_i (bar)	K_i	x_B
H ₂ O (LK)	0,0749	14,7639	14,7639	0,0749
TEG (HK)	1,7026	1,7113	1,7113	1,7026
Jumlah	1,7775			1,7775

* Pada perhitungan ini diperoleh T tebak sebesar 197,361°C pada tekanan 1 bar

Tabel 11. Komposisi *vapor*, cair distilat dan *bottom* berdasarkan VLE

Komponen	Feed		Distilat	
	x_F	y_F	x_D	y_D
H ₂ O (LK)	0,2965	0,7850	0,9763	1,0177
TEG (HK)	0,7035	0,2149	0,0235	0,0024
Jumlah	1,0000	0,9998	0,9998	1,0201

Tabel 12. Komposisi komponen dalam mol di *feed*, distilat dan *bottom*

Komponen	Feed		Distilat		Bottom	
	x_F	n_F	x_D	n_D	x_B	y_B
H ₂ O (LK)	0,2965	20,9831	0,9765	20,7319	0,0051	0,0749
TEG (HK)	0,7035	49,7797	0,0235	0,4987	0,9958	1,7026
Jumlah	1,0000	70,7629	1,0000	21,2307	1,0009	1,7775

Tabel 13. Neraca Massa

Komponen	BM	m_F	m_D	m_B	Bottom	
					x_B	n_B
H ₂ O (LK)	18,020	378,1172	373,58	4,5283	0,0051	0,251
TEG (HK)	150,174	7475,6227	74,90	7400,71	0,9949	49,280
Jumlah		7853,73	448,49	7405,24	1,0000	49,5

Tabel 14. Persentase TEG di distilat

	m_D	m_F	
TEG di distilat	373,588	7475,622	1,002 %

Tabel 15. Persentase TEG di *bottom*

	m_B	m_F	
TEG di bottom	7400,2450	7475,622	99,00 %

3.2 Pembahasan

Proses distilasi dilakukan untuk memisahkan campuran cairan dengan menggunakan temperatur minimal operasi pada tekanan operasi yang dikehendaki agar mendapatkan produk yang optimal kemurniannya. Pada proses ini, dilakukan estimasi temperatur refluks kondensor pada unit TEG Regenerator untuk penghematan konsumsi TEG. Saat melakukan estimasi temperatur refluks kondensor dilakukan dengan bantuan *microsoft excel* dengan melakukan perhitungan yang menggunakan metode FUG (*Fenske Underwood Gilliland*). Metode FUG ini banyak dipakai untuk perancangan kolom distilasi [11]. Metode FUG ini sering dipakai pada sistem ideal dimana volatilitas relatif sepanjang kolom distilasi mendekati tetap. Pada proses distilasi semakin besar perbedaan titik didih dari masing masing komponen maka akan didapatkan kemurnian produk yang semakin tinggi.

Pada proses refluks kondensor pada unit TEG Regenerator memerlukan pengendalian temperatur atau tekanan, bila pengaturan temperatur dan tekanan tidak tepat, kemurnian produk yang dihasilkan rendah, maka pengaturan kondisi operasi tersebut dapat dilakukan dengan mengatur temperatur pada tekanan operasi yang ditetapkan, atau pengaturan tekanan pada temperatur yang telah ditetapkan. Pada kondisi operasi refluks kondensor diketahui tekanan operasi yang ditetapkan sebesar 1 bar, sehingga kondisi operasi tersebut dapat dilakukan mengatur temperatur kondisi operasinya.

Estimasi penentuan temperatur refluks kondensor dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahapan pertama menentukan temperatur tebak di *feed* terlebih dahulu, saat melakukan *goal seek* pada total fraksi komponen pada *feed*, didapatkan temperatur tebak pada *feed* sebesar 193,87°C, dimana perhitungan tersebut dianggap sudah sesuai dikarenakan total fraksi mol sebesar 1 (satu).

Setelah mengetahui temperatur tebak pada *feed*, langkah selanjutnya mengasumsikan komposisi *light key* dan *heavy key*. *Light key* merupakan komponen yang lebih mudah menguap, yang akan dihasilkan pada distilat. *Heavy key* merupakan komponen yang lebih sulit menguap dan akan dihasilkan di *bottom*, maka diasumsikan untuk dapat menebak kondisi operasi yang dibutuhkan, H₂O sebagai *light key* diasumsikan sebesar 99% berada di *overhead* dan TEG sebagai *heavy key* diasumsikan 98,8% berada di *bottom*, diasumsikan tersebut dikarenakan H₂O (LK) lebih mudah menguap sehingga pada *bottom* jumlahnya sedikit, sedangkan untuk TEG (HK) lebih sulit menguap sehingga pada distilat jumlahnya sedikit [12].

Setelah membuat asumsi tersebut dan semua komponen terdistribusi, maka dilanjutkan menghitung *bubble point* dan *dew point* bagian distilat dan *bottom*. *Bubble point* adalah temperatur dimana cairan dalam suatu sistem mulai mendidih. Mendidih adalah berubah fase, secara ideal berlangsung secara setimbang. Diperoleh temperatur *bubble point* distilat sebesar 100,3°C berarti pada temperatur tersebut H₂O mengalami perubahan fase, sedangkan untuk *bubble point bottom* TEG mengalami perubahan fase mendidih pada temperatur 197,3°C. Hasil perhitungan temperatur *bubble point* distilat dan *bottom* dianggap benar dikarenakan pada perhitungannya jumlah mol fraksi semua komponen adalah 1 (satu), selain itu *bubble point* ini adalah penentuan temperatur operasi dari reboiler sistem distilasi, yang awal proses operasi menggunakan temperatur reboiler sebesar 190°C diubah menjadi 197,3°C sehingga dapat menurunkan TEG *loss*.

Dilanjutkan dengan penentuan *Dew Point*, *Dew Point* adalah temperatur dimana dalam sistem semua komponen berupa uap atau temperatur dimana uap dalam kondisi

akan segera mengembun pada tekanan tertentu. Penentuan *dew point* ini untuk menentukan kondisi operasi dari kondensor, sehingga uap yang keluar dari puncak kolom dapat di cairkan di kondensor. Diperoleh *dew point* distilat sebesar 100,3°C berarti pada temperatur tersebut H₂O mengalami pengembunan, sedangkan untuk *dew point bottom* TEG mengalami pengembunan pada temperatur 197,3°C.

Setelah semua kondisi operasi dan semua data yang dibutuhkan sudah didapatkan, maka dilakukan estimasi temperatur refluks kondensor dengan cara merubah temperatur reboiler. Yang awal mulanya temperatur sebesar 190°C dirubah menjadi 197,3°C. Setelah melakukan perubahan temperatur reboiler tersebut didapatkan hasil pengurangan TEG loss pada unit TEG Regenerator yang awal mulanya 0.5 – 2.15 Gal/MMscf menjadi 0,1 gal TEG/MMscf, karena semakin tinggi temperatur TEG maka tingkat kelarutan gas terhadap TEG menjadi semakin rendah [13] sehingga tidak banyak kandungan air yang terserap oleh TEG.

4. KESIMPULAN

Proses estimasi temperatur *reflux condensor* pada *regeneration unit* untuk penghematan konsumsi TEG dengan menggunakan metode FUG dapat disimpulkan bahwa, dengan cara mengubah temperatur reboiler dari 190°C menjadi 197,3°C dapat menurunkan TEG loss yang awal mulanya 0.5 – 2.15 Gal/MMscf menjadi 0,1 gal TEG/MMscf pada gas alam yang diolah.

REFERENSI

- [1] Christense, D., L.,(2009) Gas Dehydration (Thermodynamic Simulation of the Water/Glycol Mixture), k10-Alborg University Easbjerg.
- [2] Effective FMEAs, by Carl S. Carlson,(2012) published by Jhon Wiley & Sons
- [3] Sulaiman, M. A., Sindhuwati, C., 2020, Reaktor *Equilibrium* Chemcad: *Studi Kasus Pengaruh Feed Flow Rate dan Temperatur Operasi Terhadap Pembentukan Propil Asetat*, Jurnal Teknologi Separasi, Vol.6, No.2, agustus, 297-303.
- [4] Handbook of Maintenance Management and Engineering by Mohamed benDaya et.al, published by Springer-Verlag London Limited (2009).
- [5] Himmelblau, D.M., & Riggs, J.B. (2004). Basic and Calculations in Chemical Engineering &th Edition,. New Jersey: Prentice Hall.
- [6] Nivargi dkk (2005). TEG Contactor for Gas Dehydration, *Chemical Engineering World*;40 9;77-80.
- [7] Layliyah, C. A. N., Sindhuwati, C., 2020, Simulasi CHEMCAD: *Pengaruh Temperatur Bottom Column dan Rate Solvent DmsO terhadap Pemurnian Propil Asetat pada Distilasi Ekstraktif*, Jurnal Teknologi Separasi, Vol.6, No.2, Agustus, 283-290.
- [8] Rizaldi, R. I., Sindhuwati, C., 2020, Kolom Distilasi: *Pengaruh Temperatur terhadap Fraksi Massa Top Product pada Pemisahan Propil Asetat*, Jurnal Teknologi Separasi, Vol.6, No.2, Agustus, 130-136.
- [9] Smith, J. M., Van Ness, H. C., 2005, *Chemical Engineering Thermodynamica* Eighth Edition., New York
- [10] Geankoplis, C. J., 2003, *Transport Processes an Separation Process Principle* Fourth Edition ., University of Minnesota
- [11] Enggar, H., Sutijan., 2016, *Metode Shortcut Fenske Underwood Gilliland (FUG) Termodifikasi untuk Perancangan Kolom Destilasi pada Destilasi Campuran Azeotrop Tenner .*, Universitas Gadjah Mada

- [12] Geankoplis, C. J., 2003, Transport Processes and Separation Process Principles Fourth Edition., University of Minnesota
- [13] Ariani, Chalim, A, dkk. 2017. "Efek Konsentrasi katalis Glisin pada Penangkapan Gas CO₂, dengan Larutan Methyldietanolamin (MDEA) Menggunakan Kolom Berpacking". Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia, 1, 2580-6572