

OPTIMASI YIELD NAPHTHA PADA KOLOM *DEBUTANIZER* DI PT.SPG DENGAN METODE *TRIAL & ERROR*

Ryan Al-matiin^{1*}, Budi Sulisty Nugroho¹

¹Teknik Pengolahan Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jln. Gajah Mada No 38, Blora, Jawa Tengah 58315

*E-mail: ryanalmatiin1214@gmail.com

ABSTRAK

Debutanizer Column (FLRS T-102) adalah alat untuk memecah komponen atas dan bawah pada (*LPG* dan *Naphtha*) di RFCCU pada PT. SPG. Kolom *debutanizer* terdiri dari 25 tray, dengan *feed* masuk ke kolom dari bawah pada tray ke-13. *Overhead* kolom *debutanizer* adalah C3 dan C4 sedangkan bagian bawah adalah komponen C5+. Sesudah dilaksakannya proses evaluasi dan peningkatan dengan cara proses *trial & error*, secara teori terdapat kebutuhan tray sebanyak 14 tray (1 *reboiler tray*). Lokasi umpan ada pada tray ke-7 dengan *refluks* minimum adalah 0,4258 untuk *overhead*. *Refluks* minimum yang di hasilkan adalah 2,7442. Upaya peningkatan kinerja kolom *debutanizer* perlu dilakukan agar dapat menambah hasil kinerja alat. Seperti menurunkan temperature bawah kolom serta menambah laju alir *refluks* agar memperoleh hasil *yield* yang optimal. Temperatur bawah diturunkan sampai 157,1°C dengan ditandai adanya kenaikan *yield* sebesar 1,18574%. Sehingga dengan meningkatnya upaya kinerja kolom terhadap *yield*, maka akan meningkatkan keuntungan sebesar Rp54,668,634 per tahunnya.

Kata kunci: *Naphtha*, Temperatur, *Debutanizer*

1. PENDAHULUAN

Kolom *debutanizer* merupakan salah satu jenis kolom *distilasi* yang berperan penting dalam industri minyak dan gas, khususnya dalam pemisahan fraksi-fraksi hidrokarbon yang terdapat dalam minyak mentah atau produk petrokimia lainnya. Kolom ini secara khusus digunakan untuk memisahkan komponen ringan, seperti butana (C4) dan komponen hidrokarbon yang lebih rendah, dari fraksi yang lebih berat. Proses ini sangat penting dalam industri kilang minyak dan petrokimia, karena dapat meningkatkan efisiensi pemurnian serta kualitas produk akhir [1].

Debutanizer umumnya terdiri dari serangkaian tray atau *packing* yang memfasilitasi kontak antar uap dan cairan, sehingga komponen yang lebih *volatile* (mudah menguap) dapat dipisahkan dari komponen yang kurang *volatile* melalui proses distilasi. Prinsip kerjanya didasarkan pada perbedaan titik didih antara komponen-komponen yang akan di pisahkan, Dimana komponen dengan titik didih lebih rendah akan naik sebagai uap menuju bagian atas kolom, sementara komponen dengan titik didih lebih tinggi akan tetap berada di bagian bawah kolom dalam bentuk cairan [2].

Komposisi yang paling mudah menguap berupa campuran membentuk fasa uap dan diperoleh sebagai *overhead* di menara distilasi, sering disebut sebagai komponen *LightKey*. Sementara itu, komposisi yang kurang mudah menguap pada campuran tetap berada dalam fase cair dan diperoleh sebagai dasar menara distilasi, disebut sebagai komponen *HeavyKey* [3]. Dalam pengolahan minyak bumi, kolom *debutanizer* berperan penting untuk meningkatkan kualitas produk yang digunakan sebagai bahan bakar, seperti premium dan pertalite [4].

Efisiensi kolom *debutanizer* sangat bergantung pada kondisi operasi, seperti suhu dan tekanan, serta rancangan kolom itu sendiri. Optimasi dari kondisi-kondisi ini dapat meningkatkan *yield* produk dan mengurangi konsumsi energi. Penelitian menunjukkan bahwa pengaturan

suhu optimal pada bagian bawah kolom dapat menghasilkan peningkatan *yield* dan menurunkan kandungan komponen tak diinginkan dalam produk akhir [5].

Distilasi merupakan proses perengkahan senyawa kimia berdasarkan titik *volatilitasnya* suatu bahan baku. Dalam penyulingan, campuran bahan di panaskan sampai menguap, dan uap ini lalu diembunkan ke bentuk cairan. Bahan yang memiliki *volatilitas* lebih rendah akan lebih dahulu akan naik. Cara ini merupakan termasuk proses operasi kimia jenis perpindahan massa. Pengaplikasian proses ini berdasarkan dengan teori yakni suatu campuran larutan, masing-masing komposisi akan menguap sesuai *volatilitasnya* [6].

Pengolahan minyak bumi di Indonesia saat ini berfokus pada peningkatan produksi bahan bakar dengan kadar oktan yang lebih tinggi, seperti premium dan pertalite, yang di campur dengan komponen beroktan yang lebih tinggi, seperti *High Octane Mogas Component* (HOMC) [7]. Proses pemisahan naphtha pada kolom *debutanizer* sangat penting dalam pengolahan ini karena mempengaruhi kualitas bahan bakar yang di dihasilkan [8]. Menurut *Geankoplis Efisiensi tray* kolom *debutanizer* maupun kolom *distilasi* berkisar antara 50% sampai 85% yang menunjukkan bahwa pengontrolan parameter operasi sangat penting untuk memaksimalkan hasil [9]. R.K. Sinnott juga menegaskan bahwa rentang efisiensi *tray* yang ideal berada di antara 30% sampai 70%, tergantung pada desain dan kondisi operasional [10].

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *trail and eror* untuk meningkatkan performa kolom pemisah butana dalam proses fraksinasi hidrokarbon. Metode ini dipilih guna menentukan parameter operasional terbaik untuk mencapai efisiensi tertinggi pada unit pemisah butana. Bagian ini menguraikan rancangan eksperimen, perangkat yang dipakai, teknik pengambilan data, serta mekanisme kontrol yang diterapkan dalam percobaan. Studi ini memanfaatkan dua jenis variabel: variabel kontrol dan variabel respons. Dalam konteks optimasi, variabel kontrol merujuk pada faktor yang dapat diatur untuk memperoleh hasil optimal. Dalam hal ini, variabel kontrol yang digunakan adalah suhu bagian bawah kolom pemisah butana FLRS T-102. Sementara itu, variabel respons merupakan nilai yang akan terpengaruh oleh perubahan variabel kontrol dari pengatur proses. Variabel respons yang digunakan dalam studi ini mencakup persentase hasil dan hasil analisis RVP pada kolom pemisah butana FLRS T-102.

3. PEMBAHASAN

A. Proses Kolom Debutanizer FLRS T-102

Feed yang digunakan pada proses kolom *debutanizer* yakni *feed* yang berasal dari *bottom* produk kolom FLRS T-403 yang berupa campuran dari Propan (C3), Butana (C4), dan C5+. Tekanan yang digunakan dalam kolom *debutanizer* ini lebih kecil dibandingkan dengan tekanan yang digunakan pada kolom *stripper*, hal ini menyebabkan aliran umpan yang digunakan pada kolom *debutanizer* tidak perlu menggunakan bantuan pompa untuk mengalir.

Feed utama untuk unit ini berupa *middle vacuum gas oil*, *high vacuum gas oil*, dan *long residu* yang merupakan produk yang di dihasilkan dari unit *high vacuum* unit. Dimana *feed* utama di pisahkan dengan menggunakan panas dari katalis, katalis yang digunakan merupakan katalis Sinopec yang berupa serbuk (*powder*).

Cairan yang memasuki kolom *debutanizer* dihilangkan kandungan C1 serta C2 di kolom *stripper* FLRS T-403. Dengan menghilangkan kandungan C1 dan C2 maka akan berpengaruh terhadap spesifikasi produk yang di dihasilkan. Kolom *debutanizer* FLRS T-102 menghasilkan produk LPG sebagai produk atas dan Naphtha sebagai produk bawahnya. Produk LPG yang di dihasilkan kemudian dipompa sebagai aliran *refluks* dalam kolom dan sisanya diproses untuk

menjadi LPG di kolom *stabilizer* III. Sedangkann produk naphtha yang di hasilkann dipompa ke proses *treating* unit untuk di proses sebagai produk HOMC.

B. Data Design Kolom Debutanizer

Sebelum mengoptimasi dan mengevaluasi kolom *debutanizer* harus diketahui data desain dan kondisi operasi pada kolom *debutanizer*. Tabel 1 dan 2 merupakan data design pada kolom debutanizer FLRS T-102.

Tabel 1. data design pada kolom debutanizer FLRS T-102

Parameter	Deskripsi
Nama	Debutanizer
Item Number	FLRS T-102
Diameter	2134 mm
Tinggi Silinder	20422mm
Bahan Dasar Kolom	<i>Carbon Steel</i>
<i>Design Pressure</i>	13,0 kg/cm ²
<i>Actual Pressure</i>	12,6 kg/cm ²
<i>Design Temperature</i>	65 C/ 213 C (Atas / Bawah)
<i>Actual Temperature</i>	68 C/ 208 C (Atas / Bawah)
Tipe Tray	<i>Sieve Tray</i>
Jumlah Tray	25 tray
Tray Umpan Masuk	Tray ke 13
Produk Atas	<i>Untreated LPG</i>
Produk Bawah	<i>Untreated Naphtha</i>

Tabel 2. kondisi operasi Kolom debutanizer FLRS T-102

Deskripsi	<i>Feed</i>		<i>Top</i>		<i>Bottom</i>		<i>Reflux</i>	
	<i>Design</i>	<i>Actual</i>	<i>Design</i>	<i>Actual</i>	<i>Design</i>	<i>Actual</i>	<i>Design</i>	<i>Actual</i>
Temperatur								
C	115	90,2	65	57,5	173	167,7		
F	239	194,4181	149	135,471	343,4	333,86		
<i>Flow</i>								
T/D	1925,7	1891,39	487,5	566,99	1438	1450,50		832,44
Kg/Jam	80237,5	78807,8	20312,5	23624,46	59916,67	60437,36		34684,95
<i>Pressure</i>								
Kg/Cm ²	13,03	11,9	12,03	11,3	12,4	11,6		
Psia	200,02		185,802			179,8749		
	57	177,6044	7	175,1446	191,0652	1		

C. Hasil Analisa Laboratorium

Adapun untuk data hasil dari laboratorium yang digunakan sebagai data pendukung pada proses perhitungan optimasi pada kolom *debutanizer* dipaparkan pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil analisa laboratorium pada naphtha

No	Parameter uji	Naphtha
1	SG 60/60	0.7321
2	Distilasi	
	IBP	95
	5%	108.5
	10%	122
	20%	139.55
	30%	157.1
	40%	174.65
	50%	192.2
	60%	232.7
	70%	273.2
	80%	313.7
	95%	382.1
3	FBP	410
4	RVP	9.80
5	RON	92.18

D. Hasil Perhitungan Evaluasi Pada Kolom Debutanizer FLRS T-102

Setelah mengetahui data yang diperoleh maka dapat menentukan hasil evaluasi pada kolom *debutanizer* FLRS T-102 seperti Tabel 4 dan 5 sebagai berikut. Pada Tabel 4 didapatkan bahwa efisiensi tray sebesar 53%. Menurut Christie J. Geankoplis, efisiensi tray biasanya berkisar antara 50% hingga 85%, sehingga efisiensi ini berada di bawah batas yang ditentukan. Sedangkan menurut R.K. Sinnott, dengan rentang efisiensi 30% hingga 70%, efisiensi *tray* ini termasuk dalam rentang yang diharapkan.

Tabel 4. Evaluasi Kolom Debutanizer FLRS T-102

Keterangan	satuan	Nilai		
		evaluasi	aktual	design
Kondisi Operasi				
Tekanan Kolom	Kg/Cm2		11,9	13,03
Suhu Umpan	C		112,2	126
Suhu Atas Kolom	C	68,18	56,74	65
Suhu Bawah Kolom	C	203,82	167,2	173
Laju Alir				
Umpan	T/D		1859,13	1925,7
Produk Atas	T/D		550,66	487,5
Produk Bawah	T/D		1425,56	1438
Refluks	T/D			692,39

Konstanta Underwood		1.13382		
Refluks Rasio Minimum		0.4258		
Refluks Operasi Aktual		1.4258		
Reflux Ratio		2,7442		
Tray Minimum		10		
Tray Ideal Teoritis	Tray	14		
Tray Umpan Masuk	Tray	7	13	13
Jumlah Tray Terpasang	Tray		25	25
Effisiensi Tray	%	53		

Tabel 5. Optimasi Koolom Debutanizer FLRS T-102

Temperature	% Yield	Rvp
	$y = 94,834 - 0,1174x$	$y = 11,476 - 0,0094x$
150	77.224	10.066
150.1	77.21226	10.06506
150.2	77.20052	10.06412
150.3	77.18878	10.06318
150.4	77.17704	10.06224
150.5	77.1653	10.0613
150.6	77.15356	10.06036
150.7	77.14182	10.05942
150.8	77.13008	10.05848
150.9	77.11834	10.05754
151	77.1066	10.0566
151.1	77.09486	10.05566
151.2	77.08312	10.05472
151.3	77.07138	10.05378
151.4	77.05964	10.05284
151.5	77.0479	10.0519
151.6	77.03616	10.05096
151.7	77.02442	10.05002
151.8	77.01268	10.04908
151.9	77.00094	10.04814
152	76.9892	10.0472
152.1	76.97746	10.04626
152.2	76.96572	10.04532
152.3	76.95398	10.04438
152.4	76.94224	10.04344
152.5	76.9305	10.0425
152.6	76.91876	10.04156
152.7	76.90702	10.04062
152.8	76.89528	10.03968
152.9	76.88354	10.03874
153	76.8718	10.0378

153.1	76.86006	10.03686
153.2	76.84832	10.03592
153.3	76.83658	10.03498
153.4	76.82484	10.03404
153.5	76.8131	10.0331
153.6	76.80136	10.03216
153.7	76.78962	10.03122
153.8	76.77788	10.03028
153.9	76.76614	10.02934
154	76.7544	10.0284
154.1	76.74266	10.02746
154.2	76.73092	10.02652
154.3	76.71918	10.02558
154.4	76.70744	10.02464
154.5	76.6957	10.0237
154.6	76.68396	10.02276
154.7	76.67222	10.02182
154.8	76.66048	10.02088
154.9	76.64874	10.01994
155	76.637	10.019
155.1	76.62526	10.01806
155.2	76.61352	10.01712
155.3	76.60178	10.01618
155.4	76.59004	10.01524
155.5	76.5783	10.0143
155.6	76.56656	10.01336
155.7	76.55482	10.01242
155.8	76.54308	10.01148
155.9	76.53134	10.01054
156	76.5196	10.0096
156.1	76.50786	10.00866
156.2	76.49612	10.00772
156.3	76.48438	10.00678
156.4	76.47264	10.00584
156.5	76.4609	10.0049
156.6	76.44916	10.00396
156.7	76.43742	10.00302
156.8	76.42568	10.00208
156.9	76.41394	10.00114
157	76.4022	10.0002
157.1	76.39046	9.99926
157.2	76.37872	9.99832
157.3	76.36698	9.99738
157.4	76.35524	9.99644
157.5	76.3435	9.9955

157.6	76.33176	9.99456
157.7	76.32002	9.99362
157.8	76.30828	9.99268
157.9	76.29654	9.99174
158	76.2848	9.9908
158.1	76.27306	9.98986
158.2	76.26132	9.98892
158.3	76.24958	9.98798
158.4	76.23784	9.98704
158.5	76.2261	9.9861
158.6	76.21436	9.98516
158.7	76.20262	9.98422
158.8	76.19088	9.98328
158.9	76.17914	9.98234
159	76.1674	9.9814
159.1	76.15566	9.98046
159.2	76.14392	9.97952
159.3	76.13218	9.97858
159.4	76.12044	9.97764
159.5	76.1087	9.9767
159.6	76.09696	9.97576
159.7	76.08522	9.97482
159.8	76.07348	9.97388
159.9	76.06174	9.97294
160	76.05	9.972
160.1	76.03826	9.97106
160.2	76.02652	9.97012
160.3	76.01478	9.96918
160.4	76.00304	9.96824
160.5	75.9913	9.9673
160.6	75.97956	9.96636
160.7	75.96782	9.96542
160.8	75.95608	9.96448
160.9	75.94434	9.96354
161	75.9326	9.9626
161.1	75.92086	9.96166
161.2	75.90912	9.96072
161.3	75.89738	9.95978
161.4	75.88564	9.95884
161.5	75.8739	9.9579
161.6	75.86216	9.95696
161.7	75.85042	9.95602
161.8	75.83868	9.95508
161.9	75.82694	9.95414
162	75.8152	9.9532

162.1	75.80346	9.95226
162.2	75.79172	9.95132
162.3	75.77998	9.95038
162.4	75.76824	9.94944
162.5	75.7565	9.9485
162.6	75.74476	9.94756
162.7	75.73302	9.94662
162.8	75.72128	9.94568
162.9	75.70954	9.94474
163	75.6978	9.9438
163.1	75.68606	9.94286
163.2	75.67432	9.94192
163.3	75.66258	9.94098
163.4	75.65084	9.94004
163.5	75.6391	9.9391
163.6	75.62736	9.93816
163.7	75.61562	9.93722
163.8	75.60388	9.93628
163.9	75.59214	9.93534
164	75.5804	9.9344
164.1	75.56866	9.93346
164.2	75.55692	9.93252
164.3	75.54518	9.93158
164.4	75.53344	9.93064
164.5	75.5217	9.9297
164.6	75.50996	9.92876
164.7	75.49822	9.92782
164.8	75.48648	9.92688
164.9	75.47474	9.92594
165	75.463	9.925
165.1	75.45126	9.92406
165.2	75.43952	9.92312
165.3	75.42778	9.92218
165.4	75.41604	9.92124
165.5	75.4043	9.9203
165.6	75.39256	9.91936
165.7	75.38082	9.91842
165.8	75.36908	9.91748
165.9	75.35734	9.91654
166	75.3456	9.9156
166.1	75.33386	9.91466
166.2	75.32212	9.91372
166.3	75.31038	9.91278
166.4	75.29864	9.91184
166.5	75.2869	9.9109

166.6	75.27516	9.90996
166.7	75.26342	9.90902
166.8	75.25168	9.90808
166.9	75.23994	9.90714
167	75.2282	9.9062
167.1	75.21646	9.90526
167.2	75.20472	9.90432
167.3	75.19298	9.90338
167.4	75.18124	9.90244
167.5	75.1695	9.9015
167.6	75.15776	9.90056
167.7	75.14602	9.89962
167.8	75.13428	9.89868
167.9	75.12254	9.89774
168	75.1108	9.8968
168.1	75.09906	9.89586
168.2	75.08732	9.89492
168.3	75.07558	9.89398
168.4	75.06384	9.89304
168.5	75.0521	9.8921
168.6	75.04036	9.89116
168.7	75.02862	9.89022
168.8	75.01688	9.88928
168.9	75.00514	9.88834
169	74.9934	9.8874
169.1	74.98166	9.88646
169.2	74.96992	9.88552
169.3	74.95818	9.88458
169.4	74.94644	9.88364
169.5	74.9347	9.8827
169.6	74.92296	9.88176
169.7	74.91122	9.88082
169.8	74.89948	9.87988
169.9	74.88774	9.87894
170	74.876	9.878
170.1	74.86426	9.87706
170.2	74.85252	9.87612
170.3	74.84078	9.87518
170.4	74.82904	9.87424
170.5	74.8173	9.8733
170.6	74.80556	9.87236
170.7	74.79382	9.87142
170.8	74.78208	9.87048
170.9	74.77034	9.86954
171	74.7586	9.8686

171.1	74.74686	9.86766
171.2	74.73512	9.86672
171.3	74.72338	9.86578
171.4	74.71164	9.86484
171.5	74.6999	9.8639
171.6	74.68816	9.86296
171.7	74.67642	9.86202
171.8	74.66468	9.86108
171.9	74.65294	9.86014
172	74.6412	9.8592
172.1	74.62946	9.85826
172.2	74.61772	9.85732
172.3	74.60598	9.85638
172.4	74.59424	9.85544
172.5	74.5825	9.8545
172.6	74.57076	9.85356
172.7	74.55902	9.85262
172.8	74.54728	9.85168
172.9	74.53554	9.85074
173	74.5238	9.8498

Setelah dilakukan langkah evaluasi alat maka akan didapatkan persamaan dengan mengacu untuk proses pengoptimalan seperti tabel diatas. Dari data kondisi operasi yang diperoleh didapatkan untuk kondisi temperatur *bottom* kolom berada pada suhu 167,2°C dengan kondisi RVP sebesar 9.90432 sehingga menghasilkan *Yield* sebesar 75.20472%.

Namun dengan menggunakan prediksi optimasi yang dilakukan maka dapat di dapatkan untuk kondisi optimalnya berada pada temperatur *bottom* berada pada 157,1°C dengan mengacu pada RVP maksimalnya adalah 10 psi. Maka dengan dirubahnya kondisi operasi dari 167,2°C ke 157,1°C maka akan menghasilkan *yield* sebesar 76.39046 % sehingga akan menghasilkan RVP sebesar 9.99926.

Dengan dilakukannya proses pengoptimalan kondisi operasi Temperatur *bottom* terhadap *Yield* dan RVP maka dapat diperoleh kenaikan *Yield* dari sebelumnya 75.20472% dengan temperatur *bottom*-nya sebesar 167,2°C menjadi 76.39046% dengan temperatur *bottom*-nya sebesar 157,1°C. Sehingga dapat diperoleh kenaikan %*Yield* mengalami kenaikan sebesar 1,18574%.

E. Nilai Keekonomian

Setelah melakukan proses optimasi alat pada Kolom *Debutanizer FLRS T-102*, maka Langkah selanjutnya ialah menentukan nilai keekonomisan sebelum dilakukan proses optimasi alat dan sesudah melakukan optimasi alat. Untuk melakukan perhitungan keekonomisan dari Kolom ini diperoleh dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Laba/Keuntungan} : \text{Flow Feed} \times \% \text{yield} \times \text{US\$/bbl} \times 365D \tag{1}$$

1) Sebelum Optimasi

$$\begin{aligned} \text{Laba/Keuntungan} &: \text{Flow Feed} \times \% \text{yield} \times \text{US\$/bbl} \times 365D \\ &: 16247,5619 \text{ bbl} \times 75.04036\% \times 44,98 \text{ US\$/bbl} \times 365D \\ &: \text{Rp.3.038.555.660,24} \end{aligned}$$

2) Sesudah Optimasi

Laba/Keuntungan : $Flow\ Feed \times \%yield \times US\$/bbl \times 365D$
: $16247,5619\ bbl \times 76,39046\% \times 44,98\ US\$/bbl \times 365D$
: Rp. 3.093.224.294,52

Maka untuk keuntungan total yang diperoleh dari hasil optimasi alat tersebut adalah sebagai berikut;

Keuntungan total : Keuntungan sesudah optimasi – keuntungan sebelum optimasi
: Rp. 3.093.224.294,52 - Rp. Rp. 3.038.555.660,24
: Rp54,668,634 per Tahunnya

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa efisiensi keseluruhan *tray* mencapai 53%. Suhu optimal pada bagian bawah *kolom* tercatat sebesar 157,2 °C, yang menyebabkan peningkatan persentase hasil (*%Yield*) sebesar 1,18574%. Berdasarkan metode *Trial & Error*, suhu optimal bagian bawah kolom adalah 157,1 °C dengan nilai *RVP* sebesar 9,99926, serta menghasilkan *%Yield* sebesar 76,39046%. Setelah optimasi dilakukan, nilai keekonomisan total yang dihasilkan mencapai Rp54.668.634 per tahun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] C.J. Geankoplis, Transport Proses And Separation Proses PrinciPles, Amerika Serikat: Prentice Hall, 2003.
- [2] R.K. Sinnott, Chemical Engineering Design: Volume 6, Belanda: Elsevier, 2005.
- [3] A Budiman, Distilasi Teori dan Pengendalian Operasi, Yogyakarta: UGM, 2019.
- [4] R. T. G. & Sinnott, Chemical Engineering Design, Inggris: Butterworth-Heinemann, 2013.
- [5] R. Smith, Chemical Process and integration, Inggris: Wiley, 2005.
- [6] D. P. R. & Green, Perry's chemical Engineers' Handbook, Amerika Serikat: McGraw-Hill, 2007.
- [7] R. T. G. & Sinnott, Chemical process Design, and Simulation, Inggris: Heinemann, 2013.
- [8] C. Manning, Process Control: Modeling, Design, and Simulation, Jerman: Springer, 2008.
- [9] D. P. R. & Green, Perry's Chemical Engineers' handbook, Amerika Serikat: McGraw-Hill, 2007.
- [10] R. Baker, Membrane Technology and Applications, Amerika Serikat: McGraw-Hill, 2004.