

Evaluasi Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Kualitas Produk Bawah Kolom Debutanizer

(Evaluation of the Effect of Operating Conditions on Bottom Product Quality from the Debutanizer Column)

Haris Numan Aulia^{1*}, Zami Furqon²

^{1,2} Program Studi Teknik Pengolahan Migas, PEM Akamigas Cepu Jawa Tengah

ARTICLE INFO

Article history

Received : 04 Agustus 2021
Revised : 25 Sepetember 2021
Accepted : 30 September 2021

DOI :

<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i2.2645>

Keywords :

debutanizer column;
distillation; naphta

*e-mail corresponding author :
harisnumanaulia@yahoo.com

ABSTRAK

Proses distilasi pada kolom debutanizer memiliki peran yang penting untuk memisahkan produk *catalytic naphta* dari fraksi ringan yang terdiri atas komponen hidrokarbon C₃ dan C₄, baik jenuh maupun tak jenuh. Produk *catalytic naphta* tersebut digunakan sebagai komponen *blending gasoline* karena memiliki angka oktan yang tinggi. Proses distilasi pada kolom tersebut dihasilkan produk bawah *catalytic naphta* dan produk atasnya yang merupakan umpan bagi kolom stabilizer. Untuk mendapatkan kuantitas dan kualitas produk *catalytic naphta*, maka diperlukan pengaturan kondisi operasi kolom debutanizer yang tepat sehingga diperoleh produk yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Metode yang digunakan adalah metode perhitungan *short-cut* yang meliputi perhitungan *material balance*, dan penentuan kondisi umpan masuk. Pengumpulan data didapatkan dari data di industri. Setelah dilakukan perhitungan *material balance* kolom debutanizer dapat diketahui komposisi hidrokarbon penyusun umpan, produk atas, dan juga produk bawah. Dari data komposisi tersebut dapat diketahui hubungan antara kondisi operasi terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Semakin tinggi tekanan operasi kolom, maka akan mempengaruhi komponen ringan, yakni meningkatkan kandungan C₄ minus yang terikut ke produk bawah. Semakin tinggi kandungan C₄ minus maka akan meningkatkan angka oktan dari *catalytic naphta*, namun hal ini juga berpengaruh pada *Reid Vapor Pressure* (RVP) *catalytic naphta* yang juga meningkat. Pengaturan tekanan operasi kolom tersebut hendaknya tetap memperhatikan batasan RVP produk agar spesifikasi produk terpenuhi.

PENERBIT

UNITRI PRESS

Jl. Telagawarna, Tlogomas-Malang, 65144, Telp/Fax: 0341-565500



This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA

ABSTRACT

The distillation process in the debutanizer column has an essential role in separating the catalytic naphtha product from the light fraction consisting of C₃ and C₄ hydrocarbon components, both saturated and unsaturated. The naphtha catalytic product is used to blend gasoline because it has a high octane number. The distillation process in the column produces the bottom product of catalytic naphtha and the top product, which is the feed for the stabilizer column. In order to obtain the quantity and quality of catalytic naphtha products, it is necessary to adjust the operating conditions of the debutanizer column properly so that a product that meets the desired specifications is obtained. The method used is the short-cut calculation method which includes the calculation of the material balance and the determination of the condition of the incoming feed. Data collection is obtained from data in the industry. After calculating the material balance of the debutanizer column, the composition of the hydrocarbon constituents of the feed, the top product, and the bottom product can be seen. From the composition data, it can be seen the relationship between operating conditions and the quality of the resulting product. The higher the column operating pressure, the lighter components will be affected, increasing the C₄ minus content carried to the bottom product. The higher the C₄ minus content, the higher the octane number of catalytic naphtha, but this also affects the Reid Vapor Pressure (RVP) of catalytic naphtha, which also increases. Setting the operating pressure of the column should still pay attention to the product RVP limits, so that product specifications are fulfilled.

Cara Mengutip : Aulia, H. N., Furqon, Z. (2021). Evaluasi Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Kualitas Produk Bawah Kolom Debutanizer. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 6(2), 135-149.
doi:<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i2.2645>

1. PENDAHULUAN

Kolom debutanizer merupakan salah satu peralatan dalam unit *secondary process* yang mengolah umpan dan *long residue* dari unit sebelumnya yang menggunakan prinsip pemisahan secara distilasi. Dalam industri proses distilasi merupakan metode pemisahan utama [1] dan umum digunakan untuk memisahkan campuran komponen yang memiliki perbedaan titik didih seperti fraksi minyak bumi yang merupakan sekelompok hidrokarbon yang mendidih pada trayek titik didih tertentu [2].

Pemisahan sistem multikomponen tergantung pada kondisi operasi, sifat campuran umpan, dan batasan lainnya [3]. Unit ini menghasilkan produk mogas dengan angka oktan yang tinggi, komponen LPG, dan *dry gas* untuk pemakaian unit-unit yang lain. Kolom Debutanizer berada pada *Light Ends Section*. *Section* ini memiliki peran penting dalam memproses produk reaktor menjadi produk-produk yang memiliki nilai lebih tinggi. Kolom ini berfungsi untuk memisahkan fraksi *cat naphta* dari komponen hidrokarbon yang lebih ringan. *Cat naphta* merupakan *bottom product* debutanizer yang memiliki angka oktan (ON) yang cukup tinggi sehingga dijadikan *High Octane Mogas Component* (HOMC). Kualitas produk kolom debutanizer, baik *overhead product* dan *bottom product* dipengaruhi oleh kondisi operasi. Kondisi operasi memainkan peran yang penting dalam kinerja kolom distilasi [4]. Perubahan kondisi operasi dapat mengubah komposisi atau kemurnian komponen yang diinginkan pada kolom [5]. Pengaturan kondisi operasi pada kolom distilasi harus tepat agar fraksi ringan tidak banyak yang terikut ke produk bawah (*bottom product*) [6].

Salah satu *critical properties bottom product* adalah angka oktan (ON). Semakin banyak komponen fraksi ringan dalam *gasoline*, maka ON-nya akan semakin tinggi, namun *Reid Vapor Pressure* (RVP) *gasoline* tersebut juga akan tinggi. Padahal RVP *gasoline* merupakan salah satu sifat yang dibatasi dengan batas maksimum demi keselamatan dalam penyimpanan dan pemakaian. Oleh karena itu, kondisi operasi kolom debutanizer harus diperhatikan agar menghasilkan produk *cat naphta* dengan ON yang tinggi namun RVP-nya masih dalam batas spesifikasi sehingga kualitas *gasoline* dapat optimal. Penelitian tentang pengaruh kondisi operasi pada suhu *bottom column* terhadap kualitas produk telah dilakukan antara lain optimasi kondisi operasi temperatur kolom bawah menggunakan software simulasi hysys pada kolom debutanizer [7] dan optimasi produk *heavy naphta* melalui pengaturan *cutting point* pada kolom *naphta splitter* menggunakan metode *pseudo component* [8]. Pada penelitian sebelumnya data kondisi operasi tiap kolom berbeda, sumber *feed stock* juga berbeda, dan batasan produk yang diinginkan juga berbeda dengan penulis saat ini. Kembali beroperasinya Unit *Secondary Process* ini di awal tahun 2020 menyebabkan pemisahan antara *catalytic naphta* dan fraksi ringan kurang optimal. Maka dari itu, penulis mengambil judul “Evaluasi Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Kualitas Produk Bawah Kolom Debutanizer”.

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini antara lain mengetahui pengaruh kondisi operasi kolom debutanizer terhadap produk *catalytic naphta*-nya. Menghitung umpan yang masuk dan produk yang dihasilkan. Penulis membatasi permasalahan hanya untuk mengetahui *material balance* dan pengaruh kondisi operasi (tekanan kolom) kolom

debutanizer terhadap produk *catalytic naphta*-nya pada kondisi umpan dan kondisi operasi actual.

2. METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini tercantum dalam Tabel 1 yang berisi data kondisi operasi, Tabel 2 yang berisi data komposisi distilat, Tabel 3 yang berisi data kualitas produk bawah, dan Tabel 4 yang berisi data analisis distilasi ASTM produk bawah kolom. Data diambil selama 5 hari pada bulan agustus 2020 di perusahaan minyak negara.

Tabel 1. Data Kondisi Operasi Kolom Debutanizer

Kondisi Operasi	Desain	Pengamatan Aktual				
		Hari ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5
<i>Feed</i>	1925,7 T/D	1893	1864	1881	1888	1831
<i>Overhead Product</i>	587,5 T/D	535	521	529	538	509
<i>Reflux</i>	T/D	1070	1200	1207	1200	1200
<i>MPA to Reboiler</i>	1823 T/D	2296	2302	2294	2299	2301
<i>C5 on ovh Product</i>	%	1,8	0,4	0,4	0,4	0,4
<i>overhead temperature</i>	65°C	57,1	55,4	55,41	55,4	55,41
<i>outlet reboiler temperature</i>	173 °C	176,2	176,7	177,5	177,6	178
<i>Overhead Pressure</i>	12 kg/cm ² g	11,38	11,25	11,58	11,53	11,44
<i>Liquid out</i>	49°C	32,7	32,7	32,7	32,7	32,7

Tabel 2. Data Komposisi Distillate Kolom Debutanizer

Komponen	Pengamatan Aktual (% vol)				
	Hari ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5
C ₃ H ₆ O	34,2	35,2	34,5	32,1	35,3
n-C ₃ H ₈ P	11,1	9,7	9,1	7,8	9,1
i-C ₄ H ₁₀ P	18,7	23	22	19,3	22,7
n-C ₄ H ₁₀ P	5,8	6	6,4	7,8	5,4
C ₄ H ₈ O	11,7	12	12,5	12,8	13,9
C ₄ H ₈ -tr	8,6	8,7	9,1	8,9	8,5
C ₄ H ₈ -cis	8,1	5	5,9	10,9	4,7
i-C ₅ H ₁₂ P	1,5	0,3	0,4	0,3	0,3
n-C ₅ H ₁₂ P	0	0	0	0	0
C ₅ H ₁₀ O	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabel 3. Data Kualitas Produk Bawah Kolom Debutanizer

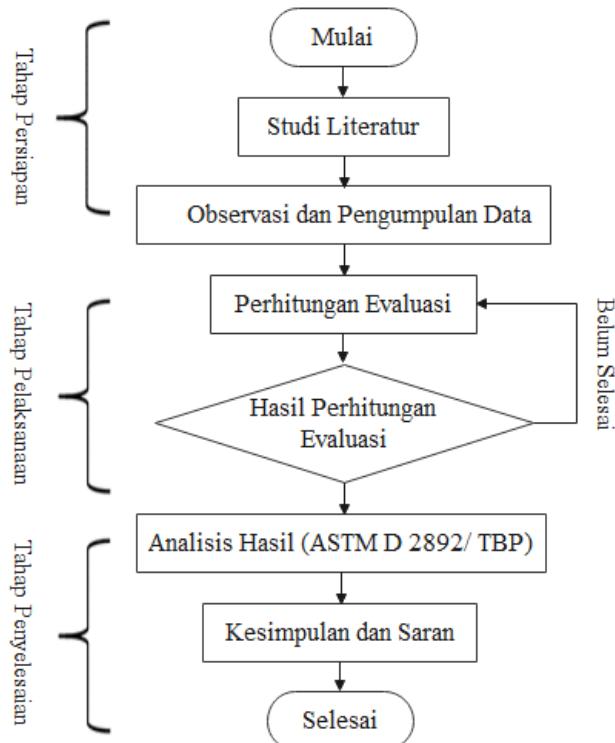
Parameter	Pengamatan Aktual				
	Hari ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5
RVP (psig)	9,6	9,4	9,8	9,6	9,7
PBP (C)	210	211	215	209	213
<i>Corrosion/ Doctor Test</i>	1BI+	1B/+	1B/+	1B/+	1B/+
<i>Octane Number</i>	90,3	89,4	91,4	90,2	90,6
Oktan Barrel (bbl)	1081593	1066556	1043965	1061861	1041045

Tabel 4. Data Analisis Distilasi ASTM Produk Bawah Kolom Debutanizer

Analisis	Pengamatan Aktual Cat Naphta				
	Hari ke 1	Hari ke 2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5
SG Aktual	0,7405	0,7376	0,7367	0,7353	0,7412
IBP C	37	38	39	38	39
5% vol C	-	-	-	-	-
10% vol C	57	54	53	56	62
20% vol C	66	61	63	66	73
30% vol C	76	70	71	74	84
40% vol C	88	8	98	88	98
50% vol C	103	93	105	107	113
60% vol C	120	112	128	120	127
70% vol C	139	130	140	140	138
80% vol C	165	149	157	159	150
90% vol C	180	174	183	180	170
95% vol C	-	-	-	-	-
FBP C	210	211	215	209	213

Hasil analisis distilasi ASTM D86 produk bawah (*cat naphta*) dari laboratorium dikonversi ke dalam distilasi TBP (*True Boiling Point*). Dari perhitungan distilasi TBP kemudian diplotkan ke dalam grafik TBP. Kemudian dengan dasar *boiling point* masing-masing komponen yang dapat dilihat dari tabel *Physical Constants of Hydrocarbon*, maka diperoleh persen volume dari masing-masing komponen. Selanjutnya dapat ditentukan massa dari masing-masing komponen dengan mengkonversi % volume menjadi satuan kg/jam. Gambar 1 menjelaskan alur metode kerja yang digunakan pada penelitian ini.

Perhitungan yang akan dilakukan dalam penelitian ini antara lain perhitungan neraca massa kolom debutanizer, dan perhitungan harga K komponen dan fase fluida umpan. Analisa yang akan dilakukan adalah menggunakan ASTM D86 dan ASTM D2892 (TBP) untuk menentukan neraca produk bawah karena tidak ada analisa laboratorium mengenai *naphta*.

Gambar 1. *Flowchart Metode Kerja*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Kolom Debutanizer

Pada kolom debutanizer berfungsi memisahkan fraksi ringan sebagai produk atas yaitu C_3^- , C_3 , iC_4 , nC_4 , C_4^+ dengan bagian fraksi yang lebih berat sebagai produk bawah seperti iC_5 , nC_5 dan C_6^+ yang merupakan mogas *component*. Umpam atau *feed* masuk ke kolom debutanizer, sebelum masuk dipanasi oleh produk bawah dari kolom debutanizer untuk menjaga temperatur yang masuk sesuai dengan apa yang diinginkan. Setelah umpan masuk terjadi pemisahan menurut fraksi-fraksinya. Untuk yang lebih ringan seperti *propane-propylene* dan *butane-butylene* akan menuju puncak kolom, akan dikondensasikan oleh kondensor. Hasil dari kondensasi tersebut ditampung dalam debutanizer *overhead reflux drum* dan dipompakan kembali sebagai refluks untuk pendinginan puncak kolom ataupun untuk mempertajam pemurnian produk yang diinginkan, sedangkan sebagian lagi dipompakan sebagai produk ataupun sebagai umpan unit berikutnya. Sedangkan untuk fraksi yang berat akan menuju ke bawah, pada daerah bawah fraksi berat tersebut sebelum menjadi produk HOMC dipanaskan kembali (*reboiler*) untuk mempertajam fraksi yang ada di daerah bawah. Adanya *reboiler* akan membuat fraksi ringan yang terikut dapat diuapkan kembali dan menuju ke puncak kolom. Untuk produk atas yang diharapkan adalah kandungan C_5 -nya tidak lebih dari 2 % Vol, sedangkan untuk produk bawah yang diinginkan untuk RVP nya tidak lebih dari 10 psig.

Operasi Kolom Debutanizer

Dalam operasi kolom debutanizer ini, Variabel operasi yang dominan pengaruhnya adalah tekanan. Variabel operasi tersebut mempengaruhi titik didih komponen minyak yang akan dipisahkan di dalam kolom debutanizer tersebut. Perubahan titik didih komponen di dalam minyak yang akan dipisahkan akan membuat komposisi produk yang diperoleh juga berbeda. Oleh karena itu, setiap perubahan variabel operasi, tekanan akan mempengaruhi komposisi *distillate (top product)* dan juga produk bawahnya (*bottom product*).

Perubahan komposisi produk yang dihasilkan dari proses distilasi tersebut akan mempengaruhi kualitas produk itu sendiri. *Distillate (top product)* yang merupakan umpan stabilizer sangat dibatasi komponen C₅-nya sedangkan produk bawah (*bottom product*) sangat dibatasi komponen C₄-nya. Pada produk bawah (*bottom product*), keberadaan C₄ dapat meningkatkan angka oktan (ON) produk *cat naphta* yang dihasilkan tetapi juga dapat meningkatkan RVP yang dibatasi maksimal 10 psig. Angka oktana adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum gasoline terbakar secara spontan [9]. *Reid Vapor Pressure* merupakan ukuran untuk menyatakan tingkat volatilitas (kemudahan menguap) gasoline [6].

Pembatasan RVP itu sendiri dilakukan agar aspek *safety* dalam *handling* (penanganan dalam penyimpanan, pendistribusian, dan pemakaian) dapat terjaga. Oleh karena itu keberadaan komponen C₄ di dalam produk bawah (*bottom product*) dibatasi maksimal 5% Volume.

Evaluasi pengaruh kondisi operasi kolom debutanizer terhadap kualitas produk bawahnya dilakukan dengan memperhitungkan dan menganalisis *material balance* kolom tersebut. Dengan mengetahui *material balance*, dapat dilihat korelasi antara perubahan kondisi operasi terhadap kualitas produk bawahnya.

Perhitungan Material Balance Kolom Debutanizer

Perhitungan material balance kolom debutanizer dilakukan untuk 5 hari. Dilakukan perhitungan berat molekul produk atas. Dari perhitungan berat molekul produk atas maka kita dapat mencari massa produk atas. Flow produk atas didapat dari morning report = 535,11 T/D dan dikonversi menjadi satuan kg/jam = 22296,25 kg/jam. Persen massa dan persen mol produk atas dapat dicari setelah massa produk atas didapatkan.

Menentukan Massa Produk Bawah

Untuk menentukan neraca massa produk bawah karena tidak ada analisa laboratorium mengenai *naphta*, maka digunakan analisa untuk menentukan komponen *naphta*. Hasil Analisa Laboratorium dikonversi dari Distilasi ASTM D86 ke ASTM D2892 (TBP). Adapun prosedur konversi dari ASTM D86 ke ASTM D2892 (TBP) sebagai berikut :

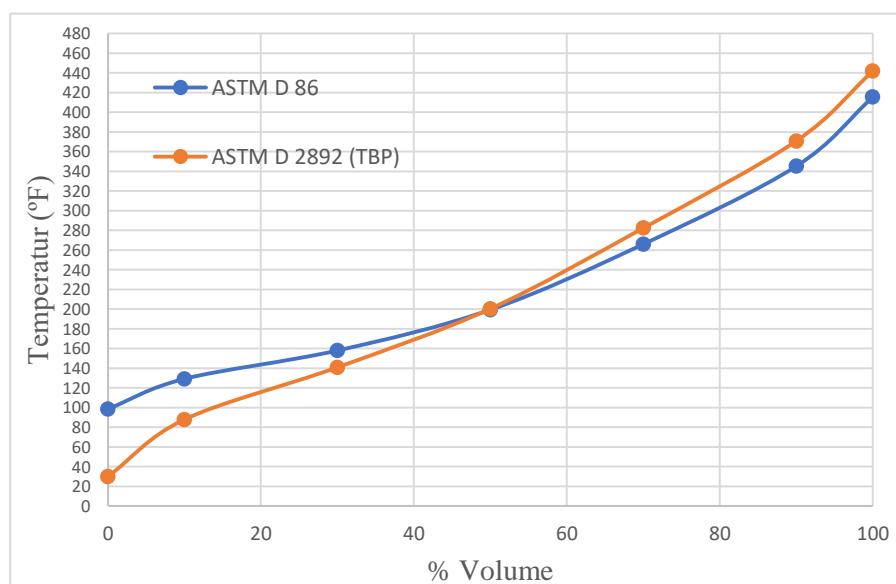
1. Data distilasi ASTM D86 disusun dalam kolom 1 dan 2
2. Perbedaan suhu (ΔT) distilasi ASTM D86 dalam kolom 3
3. Dicari terlebih dahulu ΔT ASTM D2892 (TBP) 50 % dengan menggunakan grafik (sisi kanan bawah), absis ASTM D86 50% Temp → kolom 4

4. Suhu ASTM D2892 (TBP) 50% dicari dari ASTM D86 50% temp di tambah (+) ΔT ASTM D2892 (TBP) 50% → kolom 5
5. ΔT TBP segmen lain dicari dengan menggunakan grafik (sisi kanan atas) dengan absis ΔT ASTM D86 → kolom 4
6. Suhu TBP untuk 0% vol, 10% vol dan 30 % vol didapat dengan mengurangi T TBP 50% (kolom 5) dengan ΔT TBP terkait (kolom 4)
7. Suhu TBP untuk 70% vol, 90% vol dan 100% vol didapat dengan menambahkan T TBP 50% (kolom 5) dengan ΔT TBP terkait (kolom 4)

Tabel 5. Konversi ASTM D86 ke ASTM D2892 (TBP)

% Vol	T (ASTM)	dT (ASTM)	dT (TBP)	T (TBP)
0	98,6	0	0	29,9
10	129,2	30,6	58	87,9
30	158	28,8	53	140,9
50	199,4	41,4	1 (59,5)	200,4
70	266	66,6	82	282,4
90	345,2	79,2	88,4	370,8
100	415,4	70,2	71	441,8

Dari perhitungan Distilasi TBP kemudian diplotkan ke dalam grafik TBP seperti terlihat pada gambar 2 yakni grafik ASTM D86 Vs ASTM D2892 (TBP) Produk bawah. Pada gambar 2 tersebut terlihat range pengujian metode ASTM D86 lebih pendek dibandingkan ASTM D2892 (TBP). Pengujian ASTM D86 lebih cocok untuk pengujian minyak ringan. Metoda uji distilasi ASTM D2892 (TBP) lebih banyak digunakan oleh para ahli sebagai data proses desain kilang dan tolok ukur mutu minyak bumi, karena memiliki tingkat pemisahan dan pemotongan suhu yang lebih akurat dibandingkan metoda uji distilasi ASTM D86.

**Gambar 2. Grafik ASTM D86 vs ASTM D2892 (TBP) Produk**

Atas dasar *Boiling Point* masing-masing komponen yang dapat dilihat dari Tabel *Physical Constants of Hydrocarbon*, maka didapat persen volume dan SG (*Specific Gravity*) 60/60 pada komponen produk bawah (*naphta*).

Setelah didapat masing-masing komponen beserta persen volume dari produk bawah (*naphta*) tersebut, selanjutnya adalah menentukan massa dari masing-masing komponen dengan formula $m = \text{flow produk} / \text{persen berat proporsional}$ dimana untuk menentukan volume tiap-tiap komponen adalah dengan cara mengalikan persen volume dengan flow dari produk naphta. Berat proporsional didapat dari density aktual dibagi dengan % volume.

Untuk mendapatkan density, dengan cara menentukan SG aktual terlebih dahulu dengan menggunakan grafik dengan dasar temperatur aktual naphta adalah 157,9 °C (316 °F) dan SG 60/60 masing-masing komponen. Kemudian dengan mengalikan 8,328 (lb/gal) dan mengkonversi dengan 119,83 (kg/m³), maka dapat ditentukan density dari masing-masing komponen tersebut seperti yang terdapat pada tabel berikut :

Tabel 6. Hasil Perhitungan % weight dan Massa Produk Bawah

Komponen	%Vol	BM	SG 60/60	SG Aktual	Density aktual (Kg/m3)	Berat Proporsional	% wt	Massa (Kg/jam)
i-C ₄ H ₁₀ P	0,02	58,12	0,563	0,23	229,5272	0,0459	0,0084	5,0347
n-C ₄ H ₁₀ P	0,91	58,12	0,584	0,232	231,5231	2,1069	0,3857	231,0731
C ₄ H ₈ O	0,24	56,1	0,601	0,235	234,5169	0,5628	0,1030	61,7304
C ₄ H ₈ -tr	1,15	56,1	0,61	0,235	234,5169	2,6969	0,4937	295,7915
C ₄ H ₈ -cis	1,18	56,1	0,627	0,235	234,5169	2,7673	0,5066	303,5078
i-C ₅ H ₁₂ P	7,1	72,1	0,625	0,352	351,2764	24,9406	4,5657	2735,4012
n-C ₅ H ₁₂ P	1,3	70,1	0,647	0,42	419,1366	5,4488	0,9975	597,6029
C ₅ H ₁₀ O	2,7	72,1	0,631	0,354	353,2723	9,5384	1,7461	1046,1334
C ₅ H ₁₀ N	8,9	70,1	0,751	0,539	537,8919	47,8724	8,7636	5250,4775
i-C ₆ H ₁₄ P	7,1	86,2	0,658	0,438	437,0996	31,0341	5,6811	3403,7095
C ₆ H ₁₂ O	1,9	84,2	0,678	0,472	471,0297	8,9496	1,6383	981,5572
C ₆ H ₁₄ P	2,8	86,2	0,664	0,46	459,0544	12,8535	2,3530	1409,7298
C ₆ H ₁₂ N	1,7	84,2	0,754	0,702	700,5569	11,9095	2,1802	1306,1891
C ₆ H ₆ A	4,5	78,1	0,884	0,784	782,3883	35,2075	6,4451	3861,4339
i-C ₇ H ₁₆ P	4,9	100,2	0,683	0,484	483,0050	23,6672	4,3326	2595,7417
C ₇ H ₁₆ P	4,1	100,2	0,688	0,489	487,9947	20,0078	3,6626	2194,3846
C ₇ H ₁₄ N	2,4	98,2	0,771	0,623	621,7193	14,9213	2,7315	1636,5125
C ₇ H ₈ A	3,7	92,1	0,872	0,774	772,4088	28,5791	5,2317	3134,4599
i-C ₈ H ₁₈ P	3,9	114,2	0,702	0,521	519,9289	20,2772	3,7120	2223,9364
C ₈ H ₁₈ P	3,8	114,2	0,707	0,523	521,9248	19,8331	3,6307	2175,2306
C ₈ H ₁₀ A	8,3	106,2	0,885	0,786	784,3842	65,1039	11,9180	7140,3692
C ₉ H ₂₀ P	2,7	128,2	0,722	0,555	553,8591	14,9542	2,7375	1640,1243
C ₁₀ H ₂₂ P	10,4	142,3	0,734	0,571	569,8262	59,2619	10,8486	6499,6426
C ₁₁ H ₂₄ P	8,7	156,3	0,744	0,582	580,8035	50,5299	9,2501	5541,9457
C ₁₂ H ₂₆	5,6	170,3	0,753	0,594	592,7789	33,1956	6,0768	3640,7805
TOTAL	100				546,2653961	100	59912,5	

Dengan formula $n = m/BM$ dapat ditentukan mol masing – masing komponen seperti pada table 7 berikut :

Tabel 7. Menentukan Persen Mol dan Fraksi Mol Naphta

Komponen	%Vol	BM	% wt	Massa (Kg/jam)	Mol (kgmol/ jam)	% Mol	XB
i-C4H10 P	0,02	58,12	0,0084	5,0347	0,0866	0,0143	0,000143
n-C4H10 P	0,91	58,12	0,3857	231,0731	3,9758	0,6585	0,006585
C4H8 O	0,24	56,1	0,1030	61,7304	1,1004	0,1823	0,001823
C4H8-tr	1,15	56,1	0,4937	295,7915	5,2726	0,8733	0,008733
C4H8-cis	1,18	56,1	0,5066	303,5078	5,4101	0,8961	0,008961
i-C5H12 P	7,1	72,1	4,5657	2735,4012	37,9390	6,2840	0,0628
n-C5H12 P	1,3	70,1	0,9975	597,6029	8,5250	1,4120	0,0141
C5H10 O	2,7	72,1	1,7461	1046,1334	14,5095	2,4033	0,0240
C5H10 N	8,9	70,1	8,7636	5250,4775	74,8998	12,4060	0,1241
i-C6H14 P	7,1	86,2	5,6811	3403,7095	39,4862	6,5403	0,0654
C6H12 O	1,9	84,2	1,6383	981,5572	11,6574	1,9309	0,0193
C6H14 P	2,8	86,2	2,3530	1409,7298	16,3542	2,7088	0,0271
C6H12 N	1,7	84,2	2,1802	1306,1891	15,5129	2,5695	0,0257
C6H6 A	4,5	78,1	6,4451	3861,4339	49,4422	8,1894	0,0819
i-C7H16 P	4,9	100,2	4,3326	2595,7417	25,9056	4,2909	0,0429
C7H16 P	4,1	100,2	3,6626	2194,3846	21,9000	3,6274	0,0363
C7H14 N	2,4	98,2	2,7315	1636,5125	16,6651	2,7603	0,0276
C7H8 A	3,7	92,1	5,2317	3134,4599	34,0332	5,6371	0,0564
i-C8H18 P	3,9	114,2	3,7120	2223,9364	19,4740	3,2256	0,0323
C8H18 P	3,8	114,2	3,6307	2175,2306	19,0476	3,1549	0,0315
C8H10 A	8,3	106,2	11,9180	7140,3692	67,2351	11,1365	0,1114
C9H20 P	2,7	128,2	2,7375	1640,1243	12,7935	2,1190	0,0212
C10H22 P	10,4	142,3	10,8486	6499,6426	45,6756	7,5655	0,0757
C11H24 P	8,7	156,3	9,2501	5541,9457	35,4571	5,8729	0,0587
C12H26	5,6	170,3	6,0768	3640,7805	21,3786	3,5410	0,0354
TOTAL	100		100	59912,5	603,7372	100	

Dari data diatas maka dapat ditentukan MW avg produk bawah yaitu 99,236 kg/kgmol.

Neraca Massa Kolom Debutanizer

Perhitungan neraca massa berfungsi untuk mengetahui fraksi mol komponen di umpan (F), distilat (D), dan bottom (B). Dengan menggunakan Neraca Bahan yaitu $F = D + B$ [10] , maka dapat ditentukan neraca massanya sebagai berikut:

Tabel 8. % mol Umpam (Feed)

Komponen	D	B	F	%mol
	kgmol/jam	kgmol/jam	kgmol/jam	
C ₃ H ₆ O	149,5098	0,0000	149,5098	14,36351
n-C ₃ H ₈ P	48,5251	0,0000	48,5251	4,66184
i-C ₄ H ₁₀ P	81,7495	0,0866	81,8361	7,862053
n-C ₄ H ₁₀ P	25,3555	3,9758	29,3313	2,817874
C ₄ H ₈ O	51,1481	1,1004	52,2485	5,019544
C ₄ H ₈ -tr	37,5960	5,2726	42,8686	4,118416
C ₄ H ₈ -cis	35,4102	5,4101	40,8203	3,921637
i-C ₅ H ₁₂ P	6,5574	37,9390	44,4964	4,274803
n-C ₅ H ₁₂ P	0,0000	14,5095	14,5095	1,393935
C ₅ H ₁₀ O	1,3115	8,5250	9,8365	0,944999
C ₅ H ₁₀ N	0,0000	74,8998	74,8998	7,195676
i-C ₆ H ₁₄ P	0,0000	39,4862	39,4862	3,793465
C ₆ H ₁₂ O	0,0000	11,6574	11,6574	1,119939
C ₆ H ₁₄ P	0,0000	16,3542	16,3542	1,571156
C ₆ H ₁₂ N	0,0000	15,5129	15,5129	1,490338
C ₆ H ₆ A	0,0000	49,4422	49,4422	4,749943
i-C ₇ H ₁₆ P	0,0000	25,9056	25,9056	2,488769
C ₇ H ₁₆ P	0,0000	21,9000	21,9000	2,103952
C ₇ H ₁₄ N	0,0000	16,6651	16,6651	1,601027
C ₇ H ₈ A	0,0000	34,0332	34,0332	3,269594
i-C ₈ H ₁₈ P	0,0000	19,4740	19,4740	1,870885
C ₈ H ₁₈ P	0,0000	19,0476	19,0476	1,829911
C ₈ H ₁₀ A	0,0000	67,2351	67,2351	6,459322
C ₉ H ₂₀ P	0,0000	12,7935	12,7935	1,229078
C ₁₀ H ₂₂ P	0,0000	45,6756	45,6756	4,388089
C ₁₁ H ₂₄ P	0,0000	35,4571	35,4571	3,406388
C ₁₂ H ₂₆	0,0000	21,3786	21,3786	2,053859
TOTAL	437,1632	603,7372	1040,9004	100

Dari data diatas maka dapat ditentukan MWavg dari umpan dengan terlebih dahulu menentukan massa umpan dengan formula $m = n \times BM$, seperti tabel berikut:

Tabel 9. Massa Umpan Total

Komponen	BM	Mol	Massa
		kgmol/jam	kg/jam
C ₃ H ₆ O	42,8	149,5098	6399,02006
n-C ₃ H ₈ P	44,09	48,5251	2139,472331
i-C ₄ H ₁₀ P	58,12	81,8361	4756,316762
n-C ₄ H ₁₀ P	58,12	29,3313	1704,732769
C ₄ H ₈ O	56,1	52,2485	2931,138503
C ₄ H ₈ -tr	56,1	42,8686	2404,929103
C ₄ H ₈ -cis	56,1	40,8203	2290,021127
i-C ₅ H ₁₂ P	72,15	44,4964	3210,418064
n-C ₅ H ₁₂ P	72,15	14,5095	1046,858839
C ₅ H ₁₀ O	72,16	9,8365	709,8014642
C ₅ H ₁₀ N	70,1	74,8998	5250,47747
i-C ₆ H ₁₄ P	86,2	39,4862	3403,709499
C ₆ H ₁₂ O	84,2	11,6574	981,5572314
C ₆ H ₁₄ P	86,2	16,3542	1409,729833
C ₆ H ₁₂ N	84,2	15,5129	1306,189117
C ₆ H ₆ A	78,1	49,4422	3861,43389
i-C ₇ H ₁₆ P	100,2	25,9056	2595,74167
C ₇ H ₁₆ P	100,2	21,9000	2194,384582
C ₇ H ₁₄ N	98,2	16,6651	1636,512458
C ₇ H ₈ A	92,1	34,0332	3134,459857
i-C ₈ H ₁₈ P	114,2	19,4740	2223,936372
C ₈ H ₁₈ P	114,2	19,0476	2175,230644
C ₈ H ₁₀ A	106,2	67,2351	7140,369164
C ₉ H ₂₀ P	128,2	12,7935	1640,124344
C ₁₀ H ₂₂ P	142,3	45,6756	6499,642577
C ₁₁ H ₂₄ P	156,3	35,4571	5541,94568
C ₁₂ H ₂₆	170,3	21,3786	3640,780525
TOTAL		1040,9004	82228,93393

Dari data diatas maka dapat ditentukan MWavg dari umpan. $MW_{avg} = \text{Massa/mol} = 82228,93393 \text{ kg/jam} / 1040,9004 \text{ kgmol/jam} = 78,99789 \text{ kg/kgmol}$. Setelah persen mol komponen dari masing-masing fraksi didapat, selanjutnya dapat ditentukan fraksi mol masing-masing komponen dari tiga fraksi tersebut dan dapat disusun neraca massa komponen total seperti terlihat pada tabel berikut:

Tabel 10. Neraca Massa Komponen Total Kolom Debutanizer

Komponen	Feed		Distillate		Bottom	
	%mol	Kgmol/jam	%mol	Kgmol/jam	%mol	Kgmol/jam
C ₃ H ₆ O	14,3635	149,5098	34,2	149,5098	0,0000	0,0000
n-C ₃ H ₈ P	4,6618	48,5251	11,1	48,5251	0,0000	0,0000
i-C ₄ H ₁₀ P	7,8621	81,8361	18,7	81,7495	0,0143	0,0866
n-C ₄ H ₁₀ P	2,8179	29,3313	5,80	25,3555	0,6585	3,9758
C ₄ H ₈ O	5,0195	52,2485	11,7	51,1481	0,1823	1,1004
C ₄ H ₈ -tr	4,1184	42,8686	8,60	37,5960	0,8733	5,2726
C ₄ H ₈ -cis	3,9216	40,8203	8,10	35,4102	0,8961	5,4101
i-C ₅ H ₁₂ P	4,2748	44,4964	1,50	6,5574	6,2840	37,9390
n-C ₅ H ₁₂ P	0,9450	9,8365	0,00	0,0000	1,4120	8,5250
C ₅ H ₁₀ O	1,3939	14,5095	0,30	1,3115	2,4033	14,5095
C ₅ H ₁₀ N	7,1957	74,8998	0,00	0,0000	12,4060	74,8998
i-C ₆ H ₁₄ P	3,7935	39,4862	0,00	0,0000	6,5403	39,4862
C ₆ H ₁₂ O	1,1199	11,6574	0,00	0,0000	1,9309	11,6574
C ₆ H ₁₄ P	1,5712	16,3542	0,00	0,0000	2,7088	16,3542
C ₆ H ₁₂ N	1,4903	15,5129	0,00	0,0000	2,5695	15,5129
C ₆ H ₆ A	4,7499	49,4422	0,00	0,0000	8,1894	49,4422
i-C ₇ H ₁₆ P	2,4888	25,9056	0,00	0,0000	4,2909	25,9056
C ₇ H ₁₆ P	2,1040	21,9000	0,00	0,0000	3,6274	21,9000
C ₇ H ₁₄ N	1,6010	16,6651	0,00	0,0000	2,7603	16,6651
C ₇ H ₈ A	3,2696	34,0332	0,00	0,0000	5,6371	34,0332
i-C ₈ H ₁₈ P	1,8709	19,4740	0,00	0,0000	3,2256	19,4740
C ₈ H ₁₈ P	1,8299	19,0476	0,00	0,0000	3,1549	19,0476
C ₈ H ₁₀ A	6,4593	67,2351	0,00	0,0000	11,1365	67,2351
C ₉ H ₂₀ P	1,2291	12,7935	0,00	0,0000	2,1190	12,7935
C ₁₀ H ₂₂ P	4,3881	45,6756	0,00	0,0000	7,5655	45,6756
C ₁₁ H ₂₄ P	3,4064	35,4571	0,00	0,0000	5,8729	35,4571
C ₁₂ H ₂₆	2,0539	21,3786	0,00	0,0000	3,5410	21,3786
TOTAL	100,00	1040,90043	100,0	437,1632	100,000	603,7372

Kemudian, dengan cara perhitungan yang sama, didapat neraca massa komponen total untuk 4 hari pengambilan data berikutnya

Perhitungan Harga K Komponen Umpan dan Fase Fluida Umpan

Dari data operasi yang ada, suhu umpan $122,3^{\circ}\text{C} = 252,14^{\circ}\text{F}$ dan tekanan umpan $12 \text{ kg/cm}^2\text{g} = 8826,7104 \text{ mmHg}$. Nilai K (Konstanta Kesetimbangan) dihitung dengan konstanta antoine dan dengan acuan temperatur umpan $252,14^{\circ}\text{F}$ dan tekanan umpan $8826,7104 \text{ mmHg}$. Harga K tersebut kemudian digunakan untuk menentukan fase aliran umpan.

Dalam menentukan fasa umpan dilakukan cara coba – ulang dengan mengasumsikan uap V serta cairan L, kemudian asumsi dinyatakan benar apabila hasil perhitungan $\sum X_i = 1$. Asumsi bahwa uap V = 0,2662 dan cairan L = 0,7338.

Hasil perhitungan dalam menentukan fase aliran umpan $x_i = 1,0$ maka asumsi fraksi cair dan fraksi uap sudah benar. Dari tabel didapat $\sum X_i \cdot K_i = 1,6290 > 1$ dan $\sum X_i / K_i = 14,89330 > 1$, dapat diambil kesimpulan bahwa umpan masuk pada kondisi campuran uap dan liquid. Dengan perbandingan liquid = 73,38 % dan vapour = 26,62 %

Analisis Perhitungan Material Balance Kolom Debutanizer

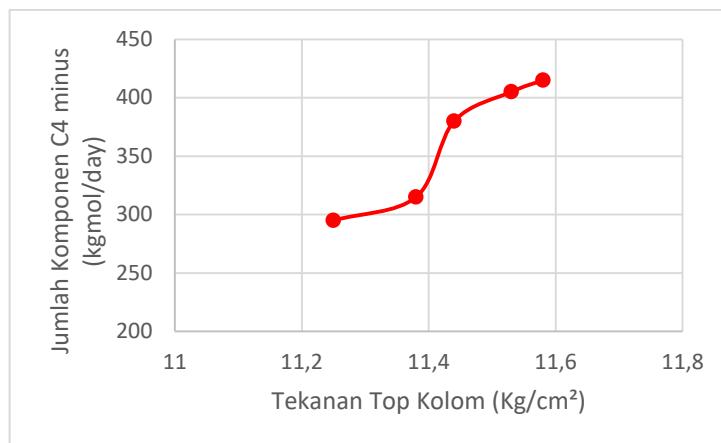
Dari perhitungan *material balance*, didapat hasil komponen C₄ minus yang terikut dalam produk bawah kolom debutanizer. Hasil perhitungan dikonversi dari satuan kgmol/ jam menjadi kgmol/ day.

Tabel 11. Hasil Komponen C₄ Minus

Komponen	Pengamatan Aktual (Kgmol/day)				
	C4 minus	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
i-C ₄ H ₁₀ P	2,0790	0,9660	2,0090	0,9646	2,0200
n-C ₄ H ₁₀ P	95,4190	89,0499	21,2771	10,7019	11,2062
C ₄ H ₈ O	26,4087	22,4952	134,4531	82,3434	54,2887
C ₄ H ₈ -tr	126,5418	57,2605	169,3897	132,1560	137,3184
C ₄ H ₈ -cis	129,8429	122,7010	84,6948	88,4429	199,0585
TOTAL	380,2916	292,4726	411,8237	314,6087	403,8917

Hubungan antara Perubahan Kondisi Operasi Terhadap Material Balance

Dari hasil perhitungan *material balance* kolom debutanizer dapat diketahui bahwa perubahan kondisi operasi, dalam hal ini tekanan kolom sangat mempengaruhi *material balance* kolom debutanizer. Pengaturan tekanan biasanya bervariasi dengan pengaturan suhu operasi. Tekanan dalam kolom distilasi yang terlalu tinggi akan mengakibatkan naiknya titik didih dengan kata lain penguapan akan menjadi lebih sulit, dan disamping itu kemampuan peralatan juga akan membatasi hal tersebut sehingga *material balance* pada kolom distilasi terpengaruh. Perubahan *material balance* yang dianalisis adalah komponen C₄ minus (C₄ dan yang lebih ringan) yang terikut ke produk bawah. Hal ini karena keberadaan komponen C₄ minus sangat mempengaruhi kualitas produk bawah kolom debutanizer ini. Hubungan antara tekanan kolom terhadap jumlah komponen C₄ minus pada produk bawah (*bottom product*) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Tekanan Kolom Terhadap Jumlah C₄ minus pada Produk Bawah (Bottom Product)

Hubungan antara Material Balance Terhadap Kualitas Produk Bawah

Perubahan kondisi operasi dalam hal ini tekanan kolom akan mempengaruhi *material balance* kolom tersebut. Sedangkan *material balance* mempengaruhi kualitas produk hasil distilasi kolom tersebut. Peningkatan jumlah komponen C₄ pada produk bawah kolom debutanizer tersebut akan berpengaruh pada kenaikan RVP dan juga angka oktan (ON). Meskipun peningkatan tidak selalu signifikan karena pada kenyataannya kualitas produk bawah khususnya angka oktan masih banyak faktor lain yang mempengaruhi, misalnya struktur hidrokarbon penyusunnya. Dari analisis *material balance* tersebut dapat diketahui bahwa dengan perubahan kondisi operasi, meskipun itu sangat kecil, dampak terhadap kualitas maupun kuantitas produknya, terutama produk bawahnya akan sangat besar. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan dengan teliti agar target kualitas maupun kuantitas produk yang diharapkan dapat tercapai.

4. KESIMPULAN

Hasil perhitungan neraca massa menunjukkan adanya keseimbangan antara massa umpan yang masuk dengan massa produk yang dihasilkan. Di dalam perhitungan dimana jumlah *feed* masuk dengan produk keluar adalah sama, sedangkan untuk kenyataan belum tentu sama karena dipengaruhi alat instrumen yang belum akurat.

Didapat kandungan komponen C₄ minus yang terdiri dari isobutan, n-butana, butena, tr-butena, dan cis-butena pada produk bawah dengan komposisi total selama 5 hari, yakni 380,2916 kgmol/day, 292,4726 kgmol/day, 411,8237 kgmol/day, 314,6087 kgmol/day, dan 403,8917 kgmol/day. Hasil ini bila dibandingkan dengan desain masih masuk dalam spesifikasi desain dimana untuk komponen C₄ minus di dalam produk bawah dibatasi 5% volume.

Kondisi operasi pada kolom debutanizer, khususnya tekanan kolom sangat mempengaruhi kualitas produk bawah kolom tersebut. Semakin tinggi tekanan kolom, maka akan mempengaruhi komponen ringan, yakni meningkatkan kandungan C₄ minus yang terikut ke produk bawah. Semakin tinggi kandungan C₄ minus maka akan

meningkatkan angka oktan dari *cat naphta*, namun hal ini juga berpengaruh pada *Reid Vapor Pressure* (RVP) *cat naphta* yang juga meningkat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bono, O. P. Pin, and C. P. Jiun, “Simulation of Palm based Fatty Acids Distillation,” *J. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 21, pp. 2508–2515, 2010.
- [2] Institute of Petroleum (Great Britain) and G. D. Hobson, *Modern petroleum technology*. Wiley, 1973.
- [3] G. Sobočan and P. Glavič, “Optimization of ethylene process design,” *Comput. Aided Chem. Eng.*, vol. 9, no. C, pp. 529–534, Jan. 2001.
- [4] F. K. Chwukuma F, “A simulation study of operating conditions of Straight Run Gasoline (SRG) stabilizer column : a consideration of product recovery and energy saving options | Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences,” *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences* Vol. 4, No. 5, Oct-2013. .
- [5] D. C. White, “Optimize Energy Use in Distillation. ,” *Chemical Engineering Progress (CEP)* , Mar-2012. .
- [6] and G. E. H. Gary, James H, *Petroleum Refining 4th Technology and Economics*. New York: Marcel Dekker, 2001.
- [7] H. N. Aulia and V. Alfiansyah, “Maksimasi Produk Naphta Kolom Debutanizer Unit RCC PT X,” *Semin. Nas. Ris. Terap.*, vol. 3, pp. E30–E39, Dec. 2018.
- [8] H. N. A. A and Afifah Tiara Siska, “Maksimasi Produk Heavy Naphta Melalui Pengaturan Cutting Point pada Kolom Naphta Splitter,” *Pros. Semin. Nas. Vokasi Indones. Vol. 1, e-ISSN 2654-6493*, vol. 1, pp. 14–20, 2018.
- [9] W. A. and D. R. S. Gruse, *Chemical Technology of Petroleum*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc, 1960.
- [10] M. Van Winkle, *Distillation*. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc, 1976.