

BAB II

DESKRIPSI PROSES

II.1. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

Bahan baku pembuatan etilen oksida adalah etilen dan udara. Sifat fisis dan kimia bahan baku dan produk tersebut tercantum pada Tabel II.4. Etilen mempunyai komposisi 99,85% etilen dan 0,15% etana, yang merupakan spesifikasi produk PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk, Cilegon. Etilen oksida memiliki komposisi 99,7% etilen oksida dan 0,03% air sesuai spesifikasi produk etilen oksida di pasaran.

Tabel II.1. Data sifat fisis dan kimia bahan baku dan produk

Sifat Fisis dan Kimia	Bahan baku				Produk
	Etilen	Udara		Katalis	Etilen Oksida
		Oksigen	Nitrogen		
Rumus Kimia	C ₂ H ₄	O ₂	N ₂	Ag	C ₂ H ₄ O
Fasa (STP)	Gas	Gas	Gas	Padat	Gas
Berat Molekul	28,05	32,00	28,02	107,88	44,05
Titik didih normal, °C	-103	-183	-195,8	--	13, 5
Komposisi	99,85% Etilen, 0,15% Etana	21%	79%	min 17,5% Ag max 82% Al ₂ O ₃	min 99,7% Etilen Oksida max 0,3% impuritas
Densitas, g/cm ³	0,2174	0,436	0,3109	--	0,314

II.2. Tinjauan Proses

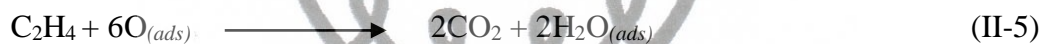
Dasar proses pembuatan etilen oksida dari etilen sesuai dengan proses yang ditemukan Lefort (lihat persamaan I.3). Reaksi ini merupakan reaksi oksidasi yang berlangsung dengan adanya katalis perak dan memiliki reaksi samping yang menghasilkan CO₂ dan air sebagai hasil pembakaran sempurna etilen (Meyers, 1986). Kilty dan Sachtler menyatakan bahwa reaksi pembentukan etilen oksida berlangsung di permukaan katalis (Persamaan (II.1)).



Etilena bereaksi dengan superoksida (O₂) membentuk etilen oksida (Persamaan (II.4)).

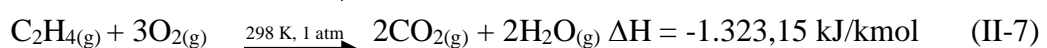


Kilty dan Sachtler menyatakan bahwa atom-atom oksigen yang dihasilkan oleh reaksi (II.4) bergabung kembali pada tingkat yang tidak signifikan dan bereaksi dengan etilena, sehingga oksidasi totalnya sebagai berikut:



(Mc. Ketta, 1984)

Reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat diketahui dengan menghitung panas reaksi (ΔH) pada suhu 25 °C (298 K) dan tekanan 1 atm. Persamaan reaksi:



(Smith-Van Ness, 1987)

Dari persamaan (II.6) dan (II.7) dapat diketahui bahwa:

ΔH_{298}^0 untuk reaksi (1) = - 105,14 kJ/kmol

ΔH_{298}^0 untuk reaksi (2) = -1.323,158 kJ/kmol

Data-data harga ΔH°_f untuk masing-masing komponen pada 298 K adalah:

$$\Delta H^{\circ}_f \text{C}_2\text{H}_4 = 52,510 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{O}_2 = 0 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{C}_2\text{H}_4\text{O} = -52,630 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{H}_2\text{O} = -241,814 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{CO}_2 = -393,510 \text{ kJ/kmol}$$

Jika $\Delta H = (-)$ maka reaksi bersifat eksotermis

Jika $\Delta H = (+)$ maka reaksi bersifat endotermis

(Smith-Van Ness, 1987)

Untuk reaksi (1):

$$\Delta H^{\circ}R_{298}(1) = \sum \Delta H^{\circ}_f \text{produk} - \sum \Delta H^{\circ}_f \text{reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}R_{298}(1) &= -52,630 - (52,510 + 0) \\ &= -105,14 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Untuk reaksi (2):

$$\Delta H^{\circ}R_{298}(2) = \sum \Delta H^{\circ}_f \text{produk} - \sum \Delta H^{\circ}_f \text{reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}R_{298}(2) &= (-393,510 \times 2) + (-241,814 \times 2) - (52,510 + (3 \times 0)) \\ &= -1323,158 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, harga ΔH masing-masing reaksi bernilai negatif, maka dapat disimpulkan bahwa kedua reaksi tersebut bersifat eksotermis. Sedangkan reaksi berjalan searah atau bolak-balik dapat diketahui dari harga konstanta kesetimbangan (K), menurut persamaan (II.5).

$$\ln K = \frac{-\Delta G^0}{RT} \quad (\text{II-8})$$

Dimana :

ΔG^0 = Energi Bebas Gibbs

R = Konstanta Gas

T = Suhu

K = Konstanta Keseimbangan Reaksi

Pengaruh suhu pada konstanta kesetimbangan dinyatakan dalam persamaan Van't Hoff (Persamaan (II.5)):

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{-\Delta G^0}{RT^2}$$

Dimana ΔG^0 untuk masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

$$\Delta G^0 \text{ C}_2\text{H}_4 = 68,840 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^0 \text{ O}_2 = 0 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^0 \text{ C}_2\text{H}_4\text{O} = -13,230 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^0 \text{ H}_2\text{O} = -228,590 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^0 \text{ CO}_2 = -394,370 \text{ kJ/kmol}$$

(Perry, 2008)

Untuk reaksi (1):

$$\Delta G^0_{\text{reaksi (1)}} = \sum \Delta G^0_{\text{produk}} - \sum \Delta G^0_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^0_{\text{reaksi (1)}} &= -13,230 \text{ kJ/kmol} - (68,840 \text{ kJ/kmol} + 0) \\ &= -82,070 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Untuk reaksi (2):

$$\Delta G^0_{\text{reaksi (2)}} = \sum \Delta G^0_{\text{produk}} - \sum \Delta G^0_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^0_{\text{reaksi (2)}} &= (-228,590 \times 2) + (-394,370 \times 2) - (68,840 + (3 \times 0)) \\ &= -1.314,760 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

Untuk reaksi (1):

$$\Delta G^0_{298} = -RT \ln K_{298}$$

$$-82070 \text{ kJ/kmol} = -(8,314 \text{ kJ/kmol K} \times 298 \text{ K} \times \ln K_{298})$$

$$\ln K_{298} = 33,125$$

$$K_{298} = 2,4 \times 10^{14}$$

Untuk reaksi (2):

$$\Delta G^0_{298} = -RT \ln K_{298}$$

$$-1314760 \text{ kJ/kmol} = -(8,314 \text{ kJ/kmol K} \times 298 \text{ K} \times \ln K_{298})$$

$$\ln K_{298} = 530,665$$

$$K_{298} = 1,5 \times 10^{230}$$

a. Reaksi (1) pada suhu 250 °C (523 K)

$$\begin{aligned}\ln \left[\frac{K_{523}}{K_{298}} \right] &= \left[\frac{-\Delta H_{298}}{R} \right] \left[\frac{1}{523} - \frac{1}{298} \right] \\ &= \left[\frac{105,14}{8,314} \right] \left[\frac{1}{523} - \frac{1}{298} \right] \\ \frac{K_{523}}{K_{298}} &= 0,9743 \\ K_{523} &= 0,9743 \times 2,4 \times 10^{14} = 2,3 \times 10^{14}\end{aligned}$$

b. Reaksi (2) pada suhu 250 °C (523 K)

$$\begin{aligned}\ln \left[\frac{K_{523}}{K_{298}} \right] &= \left[\frac{-\Delta H_{298}}{R} \right] \left[\frac{1}{523} - \frac{1}{298} \right] \\ &= \left[\frac{1323,158}{8,314} \right] \left[\frac{1}{523} - \frac{1}{298} \right] \\ \frac{K_{523}}{K_{298}} &= 0,7947 \\ K_{523} &= 0,7947 \times 1,5 \times 10^{230} = 1,19 \times 10^{230}\end{aligned}$$

Karena harga K untuk masing-masing reaksi lebih dari 10^3 , maka kedua reaksi tersebut bersifat searah (*irreversible*). Jika ditinjau dari kinetika reaksinya, kecepatan reaksi pembentukan *Ethylene Oxide* dari *Ethylene* akan semakin besar dengan kenaikan suhu. Sesuai dengan Persamaan Arrhenius (Persamaan (II.9)).

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (\text{II-9})$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (\text{II-10})$$

Dimana:

k = Konstanta Kecepatan Reaksi

A = Faktor Frekuensi Tumbukan

E_a = Energi Aktivasi

R = Konstanta Gas

T = Suhu

Dari persamaan di atas, harga A, E_a, dan R konstan. Sehingga harga konstanta kecepatan reaksi (k) hanya dipengaruhi oleh suhu, dimana dengan kenaikan suhu maka kecepatan reaksinya akan semakin besar.

Dari Dettwiler diperoleh harga konstanta kecepatan reaksi (k) untuk reaksi pembentukan *Ethylene Oxide* adalah:

$$r_1 = k_1 \frac{(Pc)K_{C_2H_4}}{1 + (Pc)K_{C_2H_4}}$$

$$r_2 = k_2 \frac{(Pc)K_{C_2H_4}}{1 + (Pc)K_{C_2H_4}}$$

(Dettwiler, 1979)

Dengan:

k_1, k_2 = konstanta kesetimbangan *over-all*, mol.gram katalis⁻¹.detik⁻¹

$$k_1 = 40,69 \exp \left[\frac{-76970}{RT} \right]$$

$$k_2 = 1,34 \exp \left[\frac{-63070}{RT} \right]$$

$K_{C_2H_4}$ = konstanta kesetimbangan *over-all*, bar⁻¹

$$K_{C_2H_4} = 1,84 \times 10^{-4} \exp \left[\frac{53550}{RT} \right]$$

Dengan:

T = suhu reaksi, K

R = konstanta gas ideal, J.mol⁻¹K⁻¹

(Pc) = Tekanan parsial etilen, bar

Proses pembentukan etilen oksida merupakan reaksi yang sangat eksotermis. Proses ini dijalankan dalam sebuah reaktor *fixed bed multitube* pada suhu reaksi 250-277 °C dan tekanan 17,1 bar menggunakan katalis perak dengan penyangga alumina.

Reaktor dilengkapi dengan pendingin agar reaksi berjalan sesuai dengan *range* suhu reaksi yang diinginkan. Dipilih suhu reaktor 250-277 °C untuk mengurangi kerusakan katalis oleh suhu tinggi, jika suhu tinggi akan menyebabkan aktivitas katalis berkurang. Tekanan operasi yang digunakan adalah 17,1 bar. Pemilihan kondisi tekanan ini berdasarkan *range* tekanan yang ada untuk proses ini yaitu 10-20 bar. Pada tekanan lebih tinggi dari 30 bar, dapat menyebabkan terjadinya reaksi polimerisasi etilen oksida yang mengakibatkan adanya endapan material berupa karbon pada permukaan katalis. Dengan katalis perak, konversi yang diperoleh sebesar 65% dan perbandingan selektivitas reaksi (1) : reaksi (2) = 75 : 25 (Kirk - Othmer, 1998).

II.3. Diagram Alir Proses dan Tahapan Proses

Secara garis besar, proses pembuatan etilen oksida dari etilen dapat dikelompokkan menjadi 3 tahapan, yaitu :

1. Tahap Penyiapan Bahan Baku
2. Tahap Sintesa Etilen Oksida
3. Tahap Pemurnian Produk

Penjelasan dari masing-masing unit adalah sebagai berikut ;

1. Tahap Penyiapan Bahan Baku

Tahapan ini meliputi:

- a. Udara pada tekanan 1 bar dan suhu 30°C dinaikkan tekanannya dengan *blower* BL-01 untuk menyamakan tekanan dengan arus *recycle*. Kemudian udara dicampur dengan arus *recycle*, arus campuran tersebut kemudian dinaikkan lagi tekanannya menggunakan C-02 hingga bertekanan 17,1 bar.
- b. Meningkatkan tekanan gas etilen. Dalam hal ini etilen yang disimpan dalam kondisi gas pada suhu 30°C dan tekanan 13,3 bar harus dinaikkan tekanannya menjadi 17,1 bar menggunakan C-01, kemudian dicampur dengan arus keluaran C-01. Arus tersebut dinaikkan suhunya dengan *Fired heater* F-01 sampai bersuhu 250°C agar sesuai dengan kondisi reaksi. Selanjutnya reaktan umpan masuk reaktor siap masuk ke dalam reaktor pada tekanan 17,1 bar dan suhu 250°C

2. Tahap Sintesa Etilen Oksida

Tahap sintesa etilen oksida ini bertujuan untuk mereaksikan reaktan membentuk Etilen Oksida. Reaksi berlangsung dalam sebuah reaktor jenis *fixed bed multitube* yang di dalam tube-nya berisi katalis perak. Reaksi berlangsung pada fase gas pada suhu 250-277 °C dan tekanan 17,1 bar. Reaksi-reaksi yang terjadi di dalam reaktor lihat persamaan (II.6) dan persamaan (II.7)

Karena reaksi bersifat eksotermis, maka reaksi disertai dengan pelepasan panas. Akibatnya akan terjadi peningkatan suhu. Untuk mencegah hal tersebut digunakan pendinginan. Pendingin berupa *saturated water* pada tekanan 29,6 bar dan menghasilkan *saturated steam* untuk pemanas alat-alat penukar panas.

Keluaran reaktor kemudian diturunkan tekanannya menggunakan turbin ekspander menjadi 3 bar. Hasil ekspansi kemudian didinginkan oleh CD-01. Hasil pendinginan bersuhu 40°C masih berfase gas masuk ke dalam absorber (AB-01) yang beroperasi pada suhu 40°C dan tekanan 3 bar.

3. Tahap Pemurnian Hasil

Tahap ini bertujuan untuk memisahkan produk yaitu etilen oksida dari campuran gas dan kemudian dimurnikan hingga mencapai komposisi yang diinginkan. Gas keluaran reaktor yang telah didinginkan akan masuk ke absorber. Di sini etilen oksida akan diserap oleh air sebagai absorben. Air penyerap masuk dari puncak menara dan melarutkan etilen oksida. Hasil serapan ini kemudian dimasukkan ke dalam sebuah menara distilasi (MD-01). Hasil atas menara distilasi adalah produk etilen oksida dengan kemurnian minimal 99,7%. Setelah dikondensasi, sebagian hasil atas akan dikembalikan ke menara distilasi sebagai refluks sedangkan lainnya akan disimpan di tangki etilen oksida pada kondisi cair.

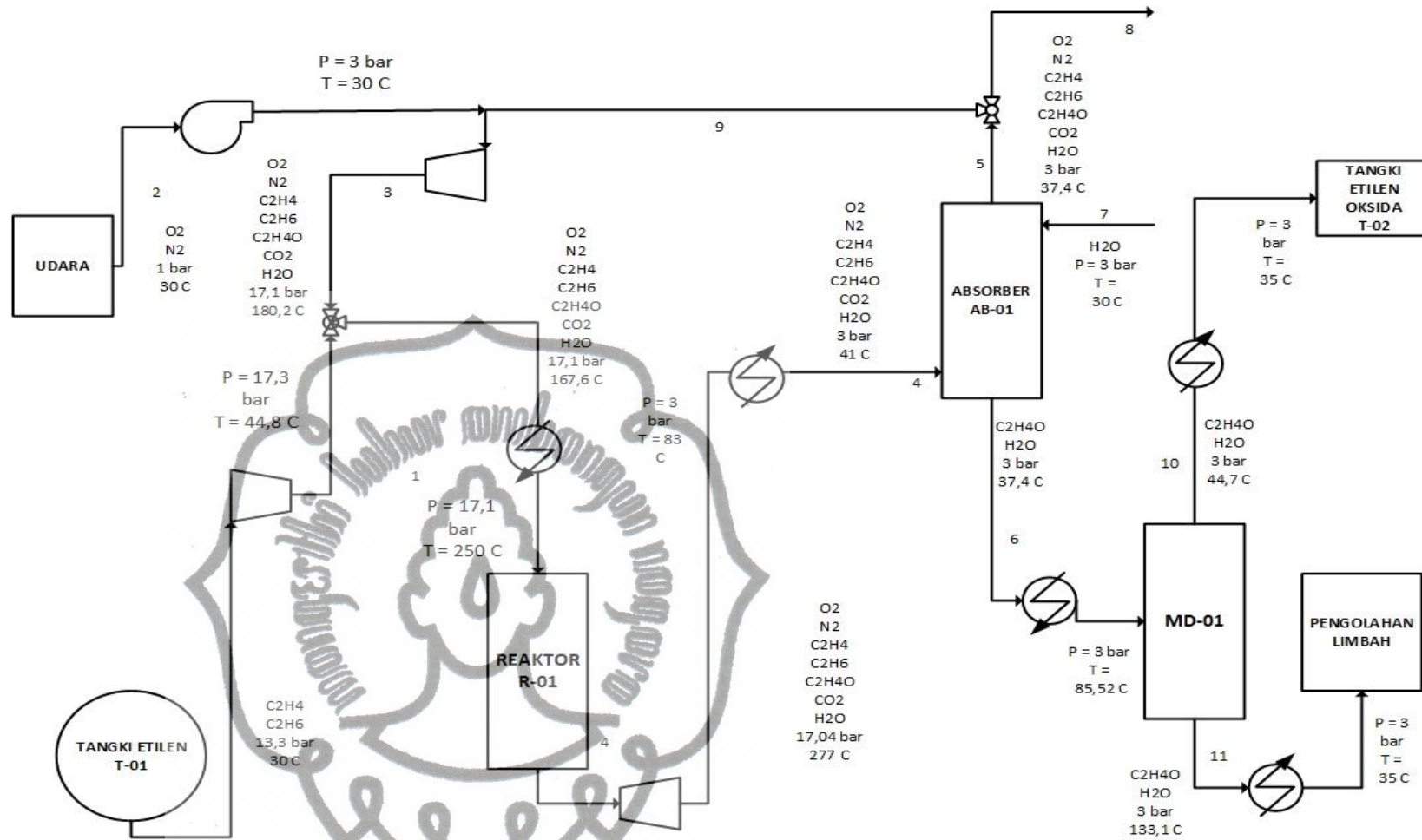
Dalam perhitungan neraca massa, etilen yang dibutuhkan untuk produksi etilen oksida sebanyak 7575,75 kg/jam. Sehingga produk etilen oksida dalam satu tahun mencapai 60.000 ton. Perhitungan neraca massa total dapat dilihat pada Tabel II.2 dan perhitungan neraca panas total pada Tabel II.3.

Tabel II.2. Neraca Massa Total

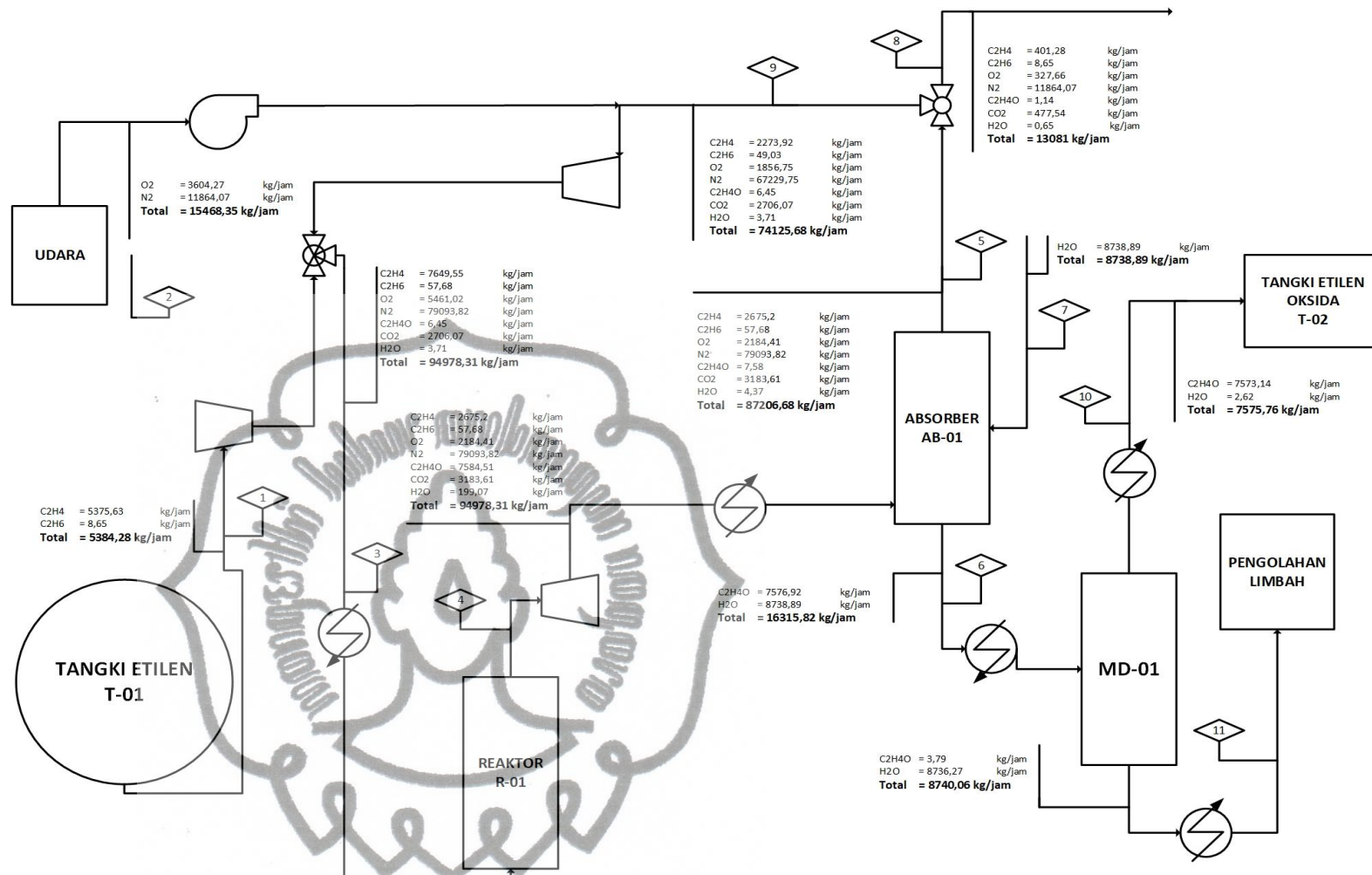
Komponen	Etilen (C ₂ H ₄)	Etana (C ₂ H ₆)	Oksigen (O ₂)	Nitrogen (N ₂)	Etilen Oksida (C ₂ H ₄ O)	CO ₂	H ₂ O
Input (kg/jam)							
- Bahan Baku	5375,628	8,652	3604,275	11864,071	0	0	0
- Air demin	0	0	0	0	0	0	8544,191
Total Input	29396,817						
Output (kg/jam)							
- Purging	401,280	8,652	327,661	11864,073	1,138	477,542	0,656
- <i>Water Treatment</i>	0	0	0	0	3,788	0	8736,271
- Produk	0	0	0	0	7573,136	0	2,622
Total Output	29396,817						

Tabel II.3. Neraca Panas Total

No.	Arus	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
1.	Arus 1	42279,31	
2.	Arus 2	77925,03	
3.	Air demin	3720841,37	
4.	Beban C-01	15272,25	
5.	Beban BL-01	32414,97	
6.	Beban C-02	1662846,31	
7.	Q reaksi	27598093,06	
8.	Q pelarutan	917078,57	
9.	Pendingin reaktor	12569120,82	
10.	Beban F-01	4937290,75	
11.	Beban HE-02	4805309,96	
12.	Beban RB-01	8478131,99	
No.	Arus	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
1.	Air pendingin		11246860,11
2.	Arus 8 (Purge)		169202,03
3.	Arus 10 (Produk)		155708,06
4.	Arus 11 (Limbah)		681348,99
5.	Sat. steam pendingin reaktor tidak termanfaatkan		47137822,85
6.	Beban EX-01		263908,39
7.	Beban CD-01		5500476,77
8.	Beban HE-01		4944583,65
9.	Beban HE-03		310050,61
10.	Beban HE-04		1670826,92
Total		64856604,39	64856604,39

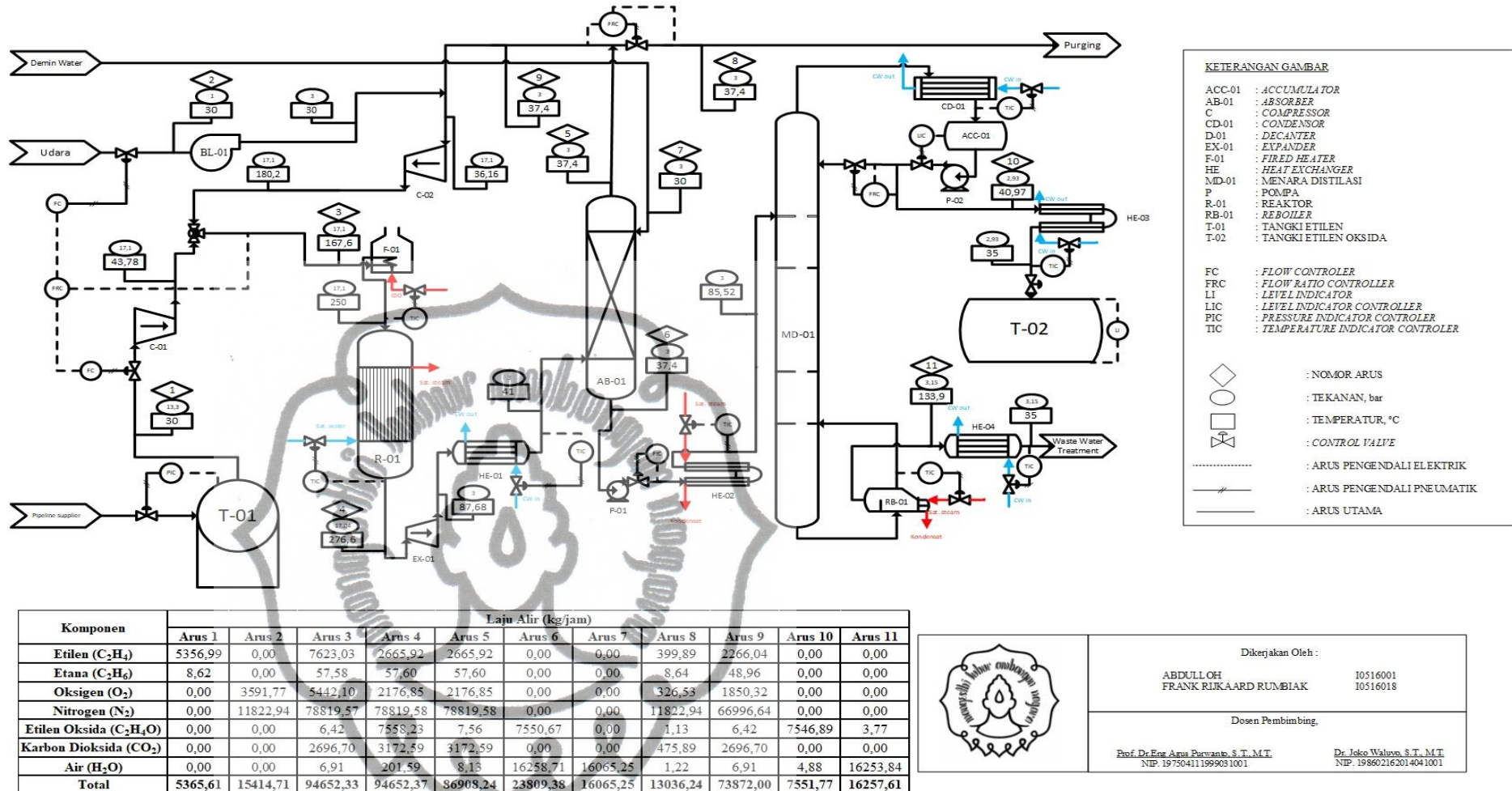


Gambar II.1. Diagram Alir Kualitatif



Gambar II.2. Diagram Alir Kuantitatif

DIAGRAM ALIR PROSES
PRARANCANGAN PABRIK ETILEN OKSIDA DARI ETILEN
MELALUI PROSES OKSIDASI MENGGUNAKAN UDARA
KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN



Gambar II.3. Diagram Alir Proses

II.4. Tata Letak Pabrik dan Peralatan

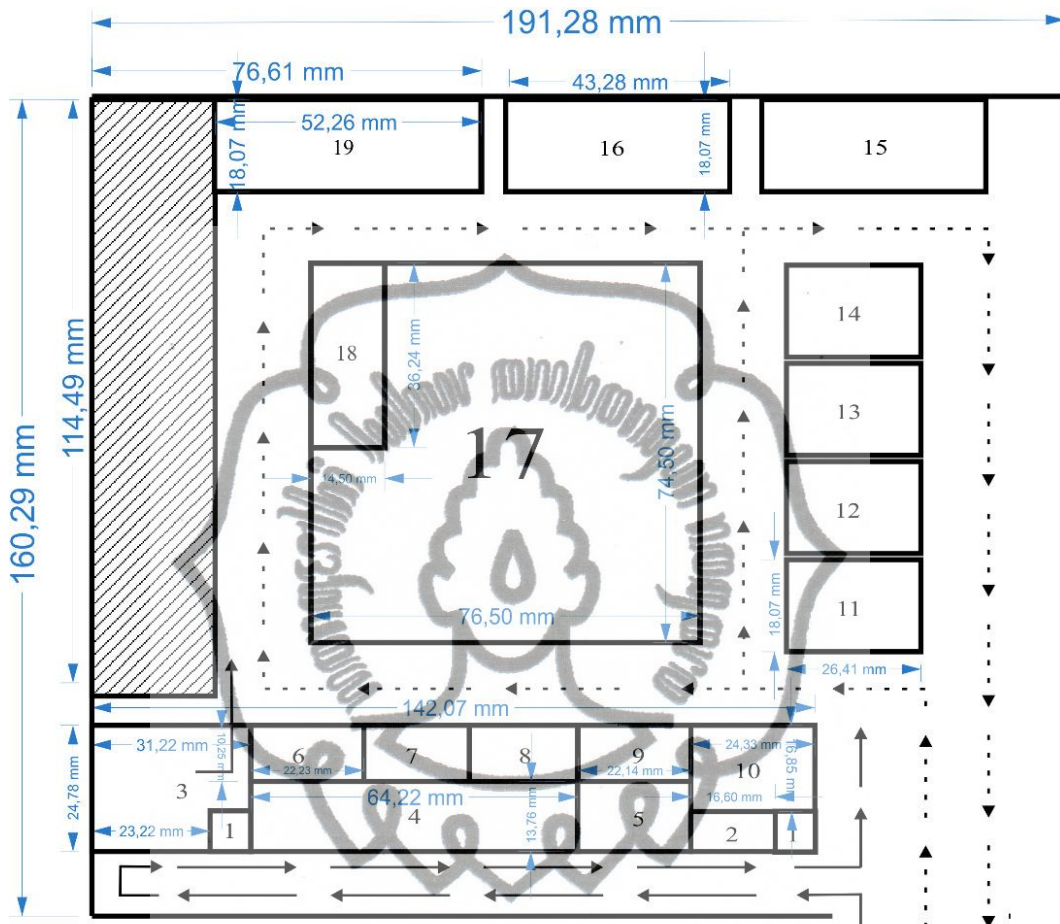
Tata letak pabrik adalah tempat kedudukan dari seluruh bagian pabrik, meliputi tempat kerja alat, tempat kerja karyawan, tempat penyimpanan barang, tempat penyediaan sarana utilitas, dan sarana lain bagi pabrik. Beberapa faktor perlu diperhatikan dalam penentuan tata letak pabrik, antara lain adalah pertimbangan ekonomis (biaya konstruksi dan operasi), kebutuhan proses, pemeliharaan keselamatan, perluasan di masa mendatang.

Bangunan pabrik meliputi area proses, area tempat penyimpanan bahan baku dan produk, area utilitas, bengkel mekanik untuk pemeliharaan, gudang untuk pemeliharaan dan plant supplies, ruang kontrol, laboratorium untuk pengendalian mutu dan pengembangan, unit pemadam kebakaran, kantor administrasi, kantin, poliklinik, dan tempat ibadah, dan jalan untuk truck dan kendaraan pegawai.

Pengaturan letak peralatan proses pabrik harus dirancang seefisien mungkin. Beberapa pertimbangan perlu diperhatikan yaitu ekonomi, kebutuhan proses, operasi, perawatan, keamanan, perluasan dan pengembangan pabrik. Peletakan alat-alat proses harus sebaik mungkin sehingga memberikan biaya konstruksi dengan operasi minimal. Biaya konstruksi dapat diminimalkan dengan mengatur letak alat sehingga menghasilkan pemipaan terpendek dan membutuhkan bahan konstruksi paling sedikit. Peletakan alat harus memberikan ruangan cukup bagi masing-masing alat agar dapat beroperasi dengan baik, dengan distribusi utilitas mudah. Peralatan membutuhkan perhatian lebih dari operator harus diletakkan dekat control room. Valve, tempat pengambilan sampel, dan instrumen harus diletakkan pada ketinggian tertentu sehingga mudah dijangkau oleh operator. Peletakan alat proses harus memperhatikan ruangan untuk perawatan. Misalnya pada Heat Exchanger memerlukan cukup ruangan untuk pembersihan tube. Peletakan alat-alat proses harus sebaik mungkin, agar jika terjadi kebakaran tidak ada pekerja terperangkap di dalamnya serta mudah dijangkau oleh kendaraan atau alat pemadam kebakaran.

Susunan tata letak pabrik harus sangat diperhatikan sehingga memungkinkan adanya distribusi bahan dengan baik, cepat dan efisien. Hal tersebut akan sangat mendukung kelancaran didalam proses produksi pabrik yang

dirancang. Sketsa tata letak pabrik dapat dilihat pada Gambar II.4 dan gambar tata letak peralatan proses dapat dilihat pada Gambar II.5.



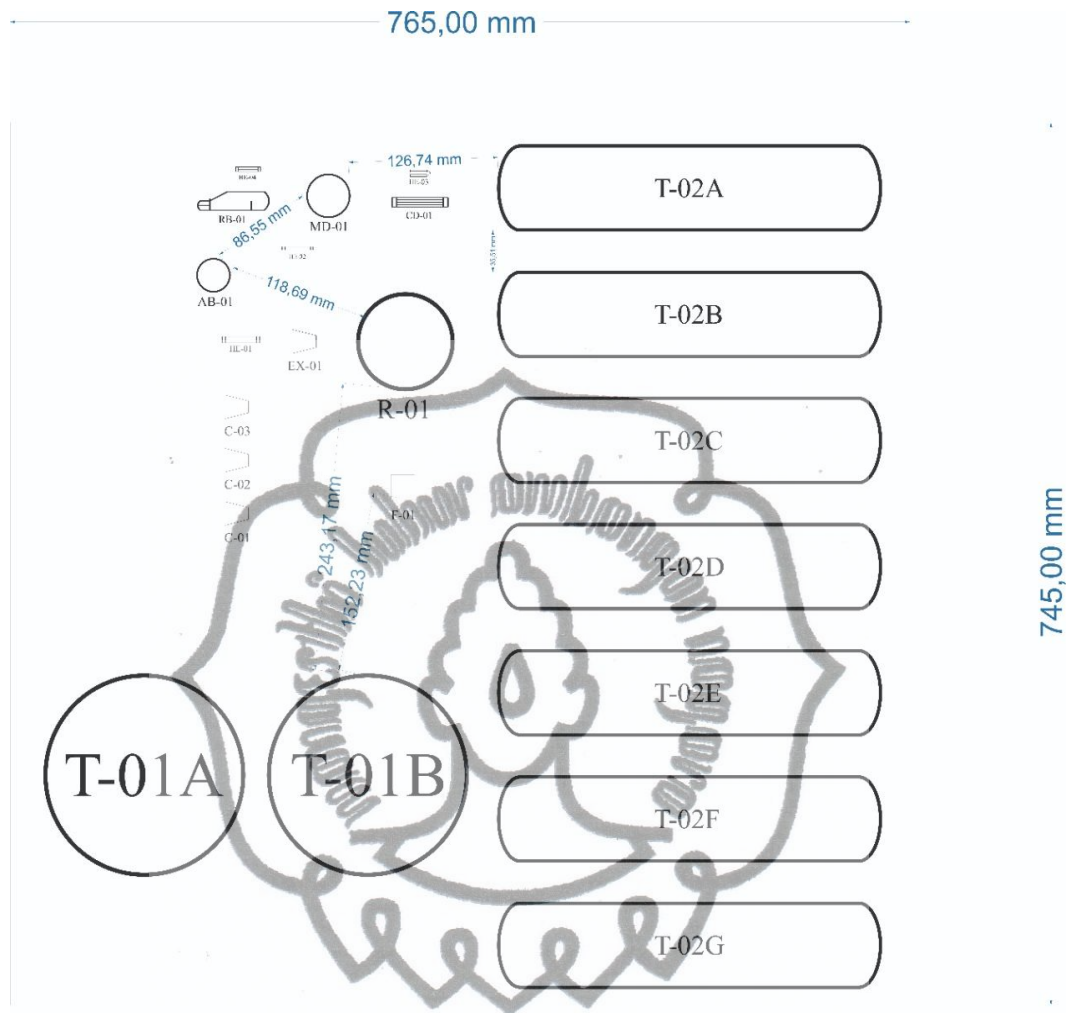
Keterangan:

Skala 1 : 1.000

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. Pos satpam | 11. Laboratorium |
| 2. Kantor Keamanan Pusat | 12. Garasi |
| 3. Parkir | 13. Bengkel |
| 4. Area perkantoran | 14. Gudang |
| 5. Masjid | 15. Pemadam Kebakaran |
| 6. Poliklinik | 16. Pengolahan Limbah |
| 7. Kantin | 17. Unit Proses |
| 8. Perpustakaan | 18. <i>Control room</i> |
| 9. Gedung K3 | 19. Unit Utilitas |
| 10. Parkir Pekerja | |

- Area Perluasan
- Jalur Masuk Truck
- Jalur Masuk Pekerja

Gambar II.4. Tata Letak Pabrik Etilen Oksida



Skala 1 : 100

Gambar II.5. Tata Letak Peralatan Proses

