

SKRIPSI
PRA RENCANA
PABRIK PEMBUATAN 1,3-BUTADIENA
KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN



**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan
gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh

NYIMAS ANNISA RIZKI LINDY **03031181520004**
SITI AISYAH SHANAZ VITRIA RAMDHONA **03031181520036**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019**

**PRA RENCANA
PABRIK PEMBUATAN 1,3-BUTADIENA
KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN**



SKRIPSI

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan
gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh

NYIMAS ANNISA RIZKI LINDY **03031181520004**
SITI AISYAH SHANAZ VITRIA RAMDHONA **03031181520036**

JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2019

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN 1,3-BUTADIENA
KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana

Oleh :

Nyimas Annisa Rizki Lindy

NIM 03031181520004

Siti Aisyah Shanaz Vitria Ramadhona

NIM 03031181520036

Inderalaya, Agustus 2019

Pembimbing



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.

NIP 19750201200012200

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



LEMBAR PERBAIKAN

1. Nama : Nyimas Annisa Rizki Lindy
NIM : 03031181520004
2. Nama : Siti Aisyah Shanaz Vitria Ramadhona
NIM : 03031181520036
- Judul : Pra Rencana Pabrik Pembuatan 1,3-Butadiena Kapasitas 60.000 Ton/Tahun

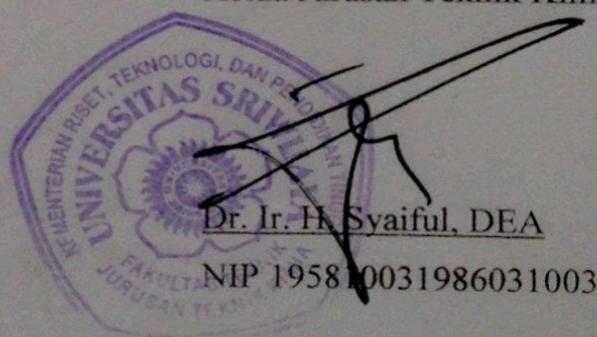
Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Juli 2019 oleh Dosen Pengaji :

1. Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA :
NIP 195805141984031001
2. Lia Cundari, S.T., M.T. :
NIP 198412182008122002

Inderalaya, Agustus 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rencana Pabrik Pembuatan 1,3-Butadiena Kapasitas 60.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan Nyimas Annisa Rizki Lindy dan Siti Aisyah Shanaz Vitria Ramadhona di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Juli 2019.

Inderalaya, Agustus 2019

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi :

1. Ir. Hj. Farida Ali, DEA : (.....)
NIP 195511081984032001
2. Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA : (.....)
NIP 195805141984031001
3. Lia Cundari, S.T., M.T. : (.....)
NIP 198412182008122001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Nyimas Annisa Rizki Lindy
NIM : 03031181520004
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan 1,3-Butadiena Kapasitas 60.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Siti Aisyah Shanaz Vitria Ramadhona** didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Inderalaya, Agustus 2019



Nyimas Annisa Rizki Lindy

NIM 03031181520004

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Siti Aisyah Shanaz Vitria Ramadhona
NIM : 03031181520036
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan 1,3-Butadiena Kapasitas 60.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Nyimas Annisa Rizki Lindy** didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Inderalaya, Agustus 2019



Siti Aisyah Shanaz Vitria Ramadhona

NIM 03031181520036

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan 1,3-Butadiena Kapasitas 60.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan.

Tugas akhir ini dibuat sebagai syarat akhir mengikuti ujian sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan, bimbingan, serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui laporan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Orang tua dan keluarga.
5. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia 2015 serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, untuk itu diharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Akhir kata penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan semua pihak.

Indralaya, Agustus 2019

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada proses penyusunan laporan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah membantu dalam berbagai hal. Bantuan baik moril maupun materi merupakan salah satu hal yang sangat membantu dan berkesan dalam penyusunan tugas akhir ini. Terimakasih kepada pihak-pihak tersebut terutama kepada :

- 1) Allah SWT atas berkat, rahmat, nikmat, dan seluruh karunia-Nya baik dalam bentuk kelapangan hati dan pikiran serta kesehatan sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.
- 2) Ibu Tri Armayanti dan Bapak Tavip Berdikari selaku orang tua dari Siti Aisyah Shanaz Vitria Ramadhona yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, dan doa-doa setiap harinya. Terselesaikannya tugas akhir ini merupakan salah satu doa mereka yang Allah kabulkan.
- 3) Bapak Kemas Junaidy dan Ibu Leni Marlina Wati selaku orang tua dari Nyimas Annisa Rizki Lindy yang telah memberikan semangat serta dukungan moril, sehingga Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar.
- 4) Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu mendukung serta memberi arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
- 5) Keluarga pepe tercinta yaitu Al-Kautsar Dwi Arya, Andi Antonius Siahaan, M. Yudha Dwi Ramadhan, Sheren Ayu Setiani Sinaga dan Virda Irlanda Nuansyahnya yang telah memberikan dukungan dan kasih sayang tanpa henti.
- 6) Teman-teman dari Jojoba (Virda, Amel, Anjar, Litra, Sheren, Wafika, Endah) atas dukungan, hiburan dan seluruh bantuan baik moril dan materi selama perkuliahan 8 semester ini.
- 7) Corps Asisten Unit Operasi (Laboratorium Teknik Separasi dan Purifikasi) dan Unit Proses (Laboratorium Rekayasa Proses, Produk Industri Kimia) selaku rekan kerja, sahabat sekaligus keluargabaru.
- 8) TIM KP PT Chandra Asri Petrochemical periode Oktober 2018, Kak Marthen Togar, Didin Muhtadi, Slamet, dan Gio, yang telah menjadi teman seperjuangan selama KP dan saling member dukungan satu sama lain.

- 9) Rahma Amalia dan Litra Yuvita selaku partner riset bimbingan ibu Dr. Hj. Susila Arita, DEA yang telah memberikan ilmu serta saling mendukung satu sama lain.
- 10) Kak Rizky Zen yang telah memberikan ilmu serta waktunya untuk membantu pelaksanaan riset dan tanpa mu riset kami tidak akan berjalan dengan mulus.
- 11) Uni Desi selaku Analis di Laboratorium Energi Baru dan Terbarukan atas segala bantuan terutama pada saat penggerjaan penelitian.
- 12) Kak M. Bayu Saputra dan Kak Andika yang telah membantu terselesaikannya tugas akhir ini.
- 13) Teman-teman seperjuangan Jurusan Teknik Kimia Angkatan 2015 Kampus Indralaya yang telah menjadi penunjang dan keluarga selama perkuliahan 8 semester ini, semoga tali silaturahmi yang kita miliki tetap terjalin sampai kapanpun.
- 14) Partner, yang telah dengan sabar dan bekerja keras bersama mulai dari Kerja Praktek, Riset hingga Tugas Akhir, menyelesaikan laporan satu persatu. Sedikit demi sedikit melewati perjalanan panjang hingga akhirnya bersama-sama sampai di Sidang Tugas Akhir ini. Semoga apa yang telah dikerjakan bersama menjadi berkah dan menjadi penghubung yang baik, sehingga dilancarkan menuju dunia kerja.

Inderalaya, Agustus 2019

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iii
RINGKASAN.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PEMBAHASAN UMUM.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan.....	2
1.3. Proses Pembuatan.....	3
1.4. Sifat Fisika dan Kimia.....	4
BAB II PERENCANAAN PABRIK.....	8
2.1. Alasan Pendirian Pabrik.....	8
2.2. Pemilihan Kapasitas.....	8
2.3. Pemilihan Bahan Baku.....	9
2.4. Pemilihan Proses.....	9
2.5. Uraian Proses.....	11
BAB III LOKASI TATA LETAK PABRIK.....	13
3.1. Lokasi Pabrik.....	13
3.2. Letak Peralatan Pabrik.....	15
3.3. Luas Tanah.....	16
BAB IV NERACA MASSA DAN PANAS.....	18
4.1. Neraca Massa.....	18

4.2. Neraca Panas.....	24
BAB V UTILITAS.....	30
5.1. Unit Pengadaan Air.....	30
5.2. Unit Pengadaan Refigeran.....	34
5.3. Unit Pengadaan Steam.....	34
5.4. Unit Pengadaan Listrik.....	35
5.5. Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	37
 BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN.....	 40
6.1. Accumulator-01 (ACC-01).....	40
6.2. Condensor-01 (CD-01).....	41
6.3. Chiller-01 (CH-01).....	42
6.4. Furnace-01 (F-01).....	43
6.5. Furnace-02 (F-02).....	44
6.6. Furnace-03 (F-03).....	45
6.7. Furnace-04 (F-04).....	46
6.8. Kompresor-01 (K-01).....	47
6.9. Kompresor-02 (K-02).....	48
6.10. Kolom Distilasi-01 (KD-01).....	49
6.11. Knock Out Drum-01 (KOD-01).....	50
6.12. Knock Out Drum-02 (KOD-02).....	51
6.13. Pompa-01 (P-01).....	52
6.14. Pompa-02 (P-02).....	52
6.15. Pompa-03 (P-03).....	53
6.16. Pompa-04 (P-04).....	53
6.17. Reaktor-01 (R-01).....	54
6.18. Reaktor-02 (R-02).....	55
6.19. Reaktor-03 (R-03).....	56
6.20. Reaktor-04 (R-04).....	57
6.21. Reboiler-01 (RB-01).....	58
6.22. Tanki-01 (T-01).....	59

6.23. Tanki-02 (T-02).....	60
6.24. Tanki-03 (T-03).....	61
6.25. Partial Condensor-01 (PC-01).....	62
6.26. Vaporizer-01 (VP-01).....	63
 BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN.....	 64
7.1. Bentuk Perusahaan.....	64
7.2. Struktur Organisasi.....	64
7.3. Manajemen Perusahaan.....	65
7.4. Sistem Kerja.....	68
7.5. Penentuan Jumlah Kerja.....	69
 BAB VIII ANALISA EKONOMI.....	 75
8.1. Profitabilitas.....	75
8.2. Waktu Pengembalian Modal.....	76
8.3. Total Modal Akhir.....	78
8.4. Laju Pengembalian Modal.....	79
8.5. Break Even Point.....	80
8.6. Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	82
 BAB IX KESIMPULAN.....	 83

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Perkembangan Impor 1,3-Butadiena di Indonesia Tahun 2014-2018.....	9
Tabel 2.2.	Perbandingan Proses Pembuatan 1,3-Butadiena.....	10
Tabel 7.1.	Pembagian Jam Kerja Sistem Shift.....	69
Tabel 7.2.	Perincian Jumlah Pekerja.....	71
Tabel 8.1.	Angsuran Pengembalian Modal.....	78
Tabel 8.2.	Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Grafik Perkembangan Impor 1,3-Butadiena di Indonesia Tahun 2014-2018.....	9
Gambar 3.1.	Lokasi Pendirian Pabrik.....	15
Gambar 3.2.	Tata Letak Pabrik.....	16
Gambar 7.1.	Struktur Organisasi Perusahaan.....	74
Gambar 8.1.	Grafik Break Even Point Pabrik Pembuatan 1,3- Butadiena.....	81

DAFTAR NOTASI

1. ACCUMULATOR

C	= Allowable corrosion (m)
E	= Efisiensi pengelasan (<i>dimensionless</i>)
ID	= Diameter dalam (m)
OD	= Diameter luar (m)
L	= Panjang accumulator (m)
P	= Tekanan operasi (atm)
S	= Working stress yang diizinkan (atm)
T	= Temperatur operasi (K)
t	= Tebal dinding accumulator (m)
V	= Volume total (m ³)
V _s	= Volume silinder (m ³)
ρ	= Densitas (kg/m ³)

2. CHILLER, VAPORIZER, CONDENSER, REBOILER

A	= Area perpindahan panas (ft ²)
a _a , a _p	= Area pada annulus, inner pipe (ft ²)
a"	= External surface per 1 in (ft ² /in ft)
D _e	= Diameter ekivalen (in)
f	= Faktor friksi (ft ² /in ²)
G _a	= Laju alir massa fluida pada annulus (lb/jam.ft ²)
G _p	= Laju alir massa fluida pada inner pipe (lb/jam.ft ²)
g	= Percepatan gravitasi
h	= Koefisien perpindahan panas (Btu/jam.ft ² °F)
j _h	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal (Btu/jam.ft ² °F)
LMTD	= Logaritmic mean temperature difference (°F)
ID	= Diameter dalam (ft)
OD	= Diameter luar (ft)
R _d	= Dirt factor (Btu/jam.ft ² °F)

R_e	= Bilangan reynold
s	= Spesific gravity
$T_1 T_2$	= Temperatur fluida panas inlet, outlet ($^{\circ}\text{F}$)
$t_1 t_2$	= Temperatur fluida dingin inlet, outlet ($^{\circ}\text{F}$)
T_c	= Temperatur rata-rata fluida panas ($^{\circ}\text{F}$)
t_c	= Temperatur rata-rata fluida dingin ($^{\circ}\text{F}$)
U_c	= Clean overall coefficient (Btu/jam.ft $^{2.0}\text{F}$)
U_d	= Design overall coefficient (Btu/jam.ft $^{2.0}\text{F}$)
N	= Jumlah baffle
N_t	= Jumlah tube
P_T	= Tube pitch (in)
h_i, h_{io}	= Koefisien perpindahan panas fluida tube (Btu/jam.ft $^{2.0}\text{F}$)
W	= Laju alir massa fluida panas (lb/jam)
w	= Laju alir massa fluida dingin (lb/jam)
μ	= Viskositas (cp)

3. FURNACE

q_n	= Neat heat release (Btu/jam)
q_r	= Radiant duty (Btu/jam)
T_f	= Temperatur fluida ($^{\circ}\text{F}$)
T_t	= Temperatur dinding ($^{\circ}\text{F}$)
A_{rt}	= Luas radiant section (ft^2)
A	= Luas tube (ft^2)
OD	= Diameter luar (in)
L	= Panjang tube (ft)
N_t	= Jumlah tube
A_{cp}	= Cold plane surface (ft^2)
V	= Volume furnace (ft^3)
L_{beam}	= Mean beam length (ft)
E_g	= Emisivitas gas
q_s	= Heat loss fuel gas (Btu/jam)
h_{cc}	= Koefisien konveksi (Btu/jam.ft $^{2.0}\text{F}$)

h_{cl}	= Koefisien gas radiant (Btu/jam.ft ² .°F)
h_{cw}	= Koefisien wall radiant (Btu/jam.ft ² .°F)
A_{cw}	= Wall area per row (ft ²)
f	= Faktor seksi konveksi

4. KNOCK OUT DRUM

Q_v	= Debit uap (ft ³ /s)
Q_l	= Debit likuid (ft ³ /jam)
$U_{v\max}$	= Kecepatan uap maksimum (ft/s)
$A_{v \min}$	= Minimum vessel cross section (ft ²)
D_{\min}	= Diameter vessel minimum (m)
L	= Ketinggian likuid (ft)
V_s	= Volume shell (ft ³)
V_h	= Volume head (ft ³)
L	= Panjang vessel (m)
r	= Jari-jari vessel (in)
S	= Working stress allowable (psi)
E_j	= Welding Joint Efisiensi
C_c	= Tebal korosi yang diizinkan (in)
t_{shell}	= Tebal dinding (m)
ID	= Diameter dalam (m)
OD	= Diameter luar (m)

5. KOLOM DISTILASI

A	= Vessel area (m ²)
A_a	= Active area (m ²)
A_d	= Area downcomer (m ²)
A_h	= Area hole (m ²)
A_n	= Area tower (m ²)
C	= Faktor korosi yang diizinkan (m)
C_{vo}	= Dry orifice coefficient (dimensionless)
C_{sb}	= Kapasitas uap (m/s)

D	= Diameter tower (m)
D _s	= Designment space (m)
E	= Joint efisiensi (dimensionless)
E _o	= Overall tray pengelasan (dimensionless)
e	= Total entrainment (kg/s)
F	= Faktor flooding (dimensionless)
F _{LV}	= Parameter aliran (dimensionless)
f	= Faktor friksi
H	= Tinggi tower (m)
HK	= Heavy component
h _a	= Treated liquid drop (cm)
h _f	= Height of froth (cm)
h _{ow}	= Height liquid crust over weir (cm)
h _w	= Tinggi weir (cm)
L	= Tinggi likuid (m)
LK	= Light component
P	= Tekanan desain (atm)
Q	= Likuid bolumeterik flowrate (m/s)
Q _v	= Vapor bolumeterik flowrate (m/s)
R	= Rasio refluks (dimensionless)
R _m	= Rasio refluks minimum
S	= Working stress (atm)
S	= Plate teoritis pada aktual refluks
S _m	= Stage teoritis termasuk reboiler
U _v	= Vapor velocity (m/s)
ρ _g	= Densitas gas (kg/m ³)
ρ _l	= Densitas likuid (kg/m ³)

6. KOMPRESOR

P _i	= Tekanan input (atm)
P _o	= Tekanan output (atm)

P	= Power kompresor (HP)
Q	= Kapasitas kompresor (ft ³ /jam)
T _i	= Temperatur input (K)
T _o	= Temperatur output (K)
η	= Efisiensi (%)
V	= Volumetrik gas masuk (ft ³ /jam)
ρ	= Densitas (kg/m ³)
W	= Laju alir massa (lb/jam)

7. POMPA

A	= Area alir pipa (in ²)
ID	= Diameter optimum dalam pipa baja (in)
D _{i opt}	= Diameter optimum pipa (in)
G _c	= Percepatan gravitasi
H _{f suc}	= Total friksi pada suction (ft)
H _{f dis}	= Total friksi pada discharge (ft)
H _d	= Discharge head (ft)
H _s	= Suction head (ft)
H _{fs}	= Friksi pada permukaan pipa (ft)
H _{fc}	= Friksi karena kontraksi tiba-tiba (ft)
K _c	= Contraction loss (ft)
K _e	= Expansion loss (ft)
L	= Panjang pipa (m)
L _e	= Panjang ekivalen pipa (m)
Δ P	= Total static head (ft)
V _L	= Volume fluida (lb/jam)
V	= Kecepatan alir (ft/s)
W _s	= Work shaft (ft.lbf/lbm)
f	= Faktor friksi
ρ	= Densitas (lb/ft ³)
μ	= Viskositas (cp)

ε	= Ekivalen roughness (dimensionless)
η	= Efisiensi (dimensionless)

8. REAKTOR

Q	= Laju volumetrik (m^3/jam)
T	= Temperatur reaksi (K)
E	= Energi aktivasi (kJ/kmol)
R	= Konstanta gas ideal (kJ/kmol.K)
k_{ref}	= Konstanta reaksi pada suhu referensi
k_i	= Konstanta reaksi
C	= Konsentrasi reaktan ($kmol/m^3$)
C_p	= Kapasitas panas (kJ/kmol)
X	= Konversi (%)
F	= Mol input (kmol)
ΔH_{rx}	= Entalpi reaksi (kJ/kmol)
r	= Laju reaksi ($kmol/m^3$)
H_s	= Tinggi silinder (m)
H_h	= Tinggi head reaktor (m)
H_t	= Tinggi total reaktor (m)
V_h	= Volume head reaktor (m^3)
V_{TR}	= Volume total reaktor (m^3)
V_K	= Volume katalis (m^3)
W	= Berat katalis (kg)
Φ	= Porositas katalis
ρ	= Densitas (kg/m^3)
t_s	= Ketebalan shell tangki (in)
P	= Tekanan dalam (psig)
ΔP	= Pressure drop (bar)
r_i	= Jari-jari dalam (in)
S	= Tekanan maksimum material carbon steel (psi)
E_j	= Joint efisiensi (dimensionless)

C_c = Corrosion allowance (in)

OD = Outside diameter (m)

ID = Inside diameter (m)

9. TANKI

C = Tebal korosi yang diizinkan (m)

D_T = Diameter tanki (m)

E = Joint efisiensi (dimensionless)

H_s = Tinggi silinder (m)

H_T = Tinggi tanki (m)

h = Tinggi head (m)

P = Tekanan operasi (atm)

S = Working stress yang diizinkan (atm)

t = Tebal dinding tanki (m)

V_s = Volume silinder (m^3)

V_e = Volume elipsoidal (m^3)

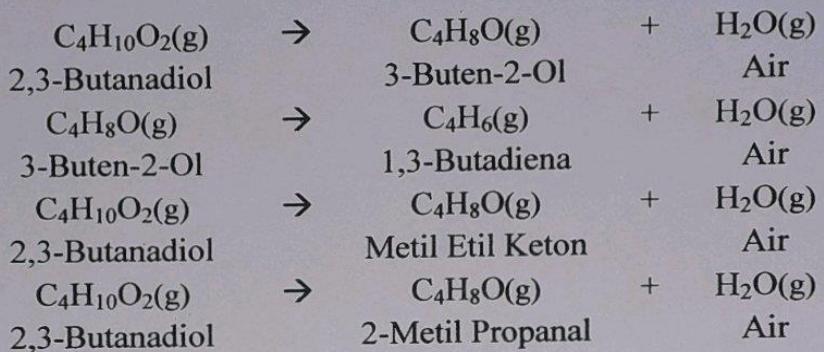
V_t = Volume tanki (m^3)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Neraca Massa.....	87
Lampiran 2	Perhitungan Neraca Panas.....	125
Lampiran 3	Perhitungan Spesifikasi Peralatan.....	173
Lampiran 4	Perhitungan Ekonomi.....	394
Lampiran 5	Tugas Khusus.....	405

ABSTRAK

Pabrik pembuatan 1,3-Butadiena kapasitas 60.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri tahun 2024 di Kawasan Industri Krakatau Steel, Kota Cilegon, Provinsi Banten dengan luas lahan sebesar 5,2 hektar. Proses pembuatan 1,3-Butadiena merupakan proses dehidrasi 2,3-Butanadiol menggunakan katalis *calcium phosphate hydroxyapatite* dalam *multitube fixed bed reactor* sebanyak 4 buah. Reaktor tersebut memiliki kondisi operasi pada suhu yang sama yaitu 365°C, sedangkan tekanan secara berurutan yaitu 2,2 ; 1,85 ; 1,5 ; dan 1,21 bar, dengan reaksi sebagai berikut.



Pabrik ini termasuk jenis perusahaan Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *line and staff* dan jumlah karyawan sebanyak 152 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik pembuatan 1,3-Butadiena layak didirikan dengan rincian sebagai berikut.

a. Investasi	= US \$ 115.973.048,01
b. Hasil penjualan per tahun	= US \$ 400.863.511,66
c. Biaya produksi per tahun	= US \$ 342.533.473,14
d. Laba bersih per tahun	= US \$ 52.181.932,38
e. <i>Pay out time</i>	= 2,1 tahun
f. <i>Rate of return on investment</i>	= 37,72%
g. <i>Discounted cash flow</i>	= 55,82%
h. <i>Break even point</i>	= 34,17%
i. <i>Service life</i>	= 11 tahun

Indralaya, Agustus 2019

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP 195810031986031003

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP 19750201200012200

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan industri di Indonesia saat ini cukup pesat dan patut dibanggakan. Indonesia sebagai negara berkembang saat ini berusaha untuk memenuhi kebutuhan berbagai bahan kimia, untuk melancarkan proses industrialisasi. Bahan kimia tersebut meliputi bahan baku, bahan setengah jadi, dan bahan pembantu industri. Pemerintah memprioritaskan pembangunan pabrik kimia agar dapat mendorong pertumbuhan industri lain. Hal ini terjadi bukan hanya karena faktor sumber daya alam yang memadai, wilayah yang strategis, tetapi juga dipengaruhi oleh pemasaran yang luas dan prospek yang cerah.

Industri butadiena adalah industri yang mempunyai prospek yang sangat bagus, karena kebutuhan setiap tahunnya meningkat. Butadiena umumnya dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan karet sintesis. Butadiena adalah bahan baku pembuatan karet sintesis yang memiliki sifat elastomer, lebih untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, karena selama ini butadiena tahan panas, abrasi, dan oksidasi dibandingkan dengan karet alam. Oleh karena itu, semakin banyak industri yang mengembangkan karet sintesis ini dengan pertimbangan masih banyak diimpor dari Korea dan Jepang, serta untuk melakukan usaha yang secara ekonomi maupun sosial menguntungkan (Kementerian Perindustrian, 2016).

Butadiena terdapat dalam dua bentuk isomer yaitu 1,2-Butadiena dan 1,3-Butadiena, dimana 1,3-Butadiena lebih banyak ditemui karena lebih mudah menguap pada suhu yang lebih tinggi. 1,3-Butadiena memiliki rumus molekul C_4H_6 merupakan senyawa diena terkonjugasi, dengan nama lain *buta-1,3-diene*, *biethylene*, *erythrene*, dan *vinylethylene* (Wibowo, 2011). Ciri-ciri butadiena berupa gas tidak berwarna, berbau aromatik, tidak korosif, mudah terbakar, dan sangat reaktif. Butadiena tidak larut dalam air tapi mudah larut dalam alkohol dan eter. Produksi butadiena sebagian besar berasal dari hasil perengkahan *crude oil* menggunakan *naptha cracker* dengan distilasi ekstraktif C4, atau dengan oksidatif dehidrogenasi senyawa butena atau n-butan (American Chemistry Council, 2019).

Contoh penggunaan 1,3-Butadiena adalah pada sintesis *Styrene Butadiene Rubber* (SBR) dan *Polybutadiene Rubber* (PBR) yang dimanfaatkan untuk pembuatan ban mobil. Selain itu pada sintesis *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) untuk industri plastik. Butadiena juga digunakan untuk pembuatan bahan kimia lain seperti *4-Vinylcyclohexene* dan *cycloalkenes*. Butadiena juga digunakan dalam polimerisasi menghasilkan stirena-butadiena lateks, yang digunakan untuk bawahan karpet, selang, dan segel gasket (American Chemistry Council, 2019).

Begitu banyaknya kegunaan butadiena diharapkan produksi dalam negeri terus meningkat agar dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan sasaran yang akan dicapai dalam pembangunan nasional, salah satunya adalah perkembangan industri kimia di dalam negeri yang menuntut penyediaan bahan baku secara kontinyu. Dengan didukung teknologi dan sumber daya yang melimpah, diharapkan dengan pembangunan pabrik butadiena di Indonesia, menjadi faktor pendorong dalam pengembangan hilirisasi industri, terutama industri karet.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Butadiena pertama kali ditemukan oleh ilmuwan Perancis yang bernama Tan Yantou pada tahun 1863, yaitu dengan mengisolasi senyawa hidrokarbon hasil dari proses pirolisis amil alkohol. Pada tahun 1886, Hendry Amstrong memperoleh butadiena yang sama dengan cara pirolisis, namun berasal dari bahan baku yang berbeda yaitu petroleum. Pada tahun 1910, diketahui bahwa butadiena dapat diperoleh melalui fermentasi pati kentang. Penemuan ini berhasil dilakukan oleh Lebedev seorang ilmuwan kimia Rusia. Alkohol yang dihasilkan direaksikan dengan katalis pada temperatur tinggi. Butadiena mulai dijual secara komersil oleh American Petroleum and Chemical Industry, dengan produksi melalui pengolahan minyak bumi dan senyawa organik secara termis (Wibowo, 2011).

Perkembangan Butadiena selanjutnya dilakukan oleh ilmuwan bernama Frey yang mempelajari bahwa butadiena dapat dibentuk dari proses adisi senyawa *methylene*, serta dari proses isomerisasi molekul air dengan *vinyl cyclopropane* selama *photolysis ketene* atau *diazometane*, pada temperatur 60°C. Pada akhirnya Zieger dan Morten yang membuktikan teori Frey itu benar, bahwa adisi terhadap senyawa logam organik dapat membentuk 1,3-Butadiena (Situmeang, 2016).

1.3. Proses Pembuatan

Macam-macam proses yang digunakan untuk menghasilkan 1,3-Butadiena sebagai berikut.

1) Proses Haundry Catadiene (Houdry)

Proses ini menghasilkan butadiena dari dehidrogenasi butana dengan katalis kromium dan aluminium oksida pada suhu 600-620°C dan tekanan 0,2-0,4 bar. Katalis yang digunakan kemudian diregenerasi dengan udara untuk membakar lapisan kokas. Konversi butana mencapai 30-40% dengan *yield* butadiena sebesar 63%. Proses berlangsung kontinyu di tiga atau lebih reaktor yang terpisah, dengan jenis *fixed bed tubular reactor* atau *tube bundle reactor*. Reaksi bersifat endotermis, katalis dimasukkan ke unit regenerasi, sementara produk didinginkan lalu masuk ke unit *absorber stripper* (Wibowo, 2011).

2) Proses Dow

Proses Dow adalah metode dehidrogenasi butena dengan penambahan uap, yang berlangsung pada suhu 600-675°C dan tekanan 1 bar, dengan bantuan katalis kalsium nikel fosfat yang distabilkan oleh kromium oksida. Panas dehidrogenasi disediakan oleh penambahan uap secara berlebih dengan rasio air dan butena yaitu 20:1. Konversi butena mencapai 50% dengan selektivitas terhadap butadiena 90%. Reaksi berlangsung pada reaktor jenis *fixed bed* yang disusun secara paralel. Hasil reaksi yaitu butadiena dipisahkan dari pengotor dengan distilasi ekstraktif, sedangkan katalis diregenerasi setelah 15 menit reaksi (Situmeang, 2016).

3) Proses Philips (OXD)

Selain proses dehidrogenasi, butadiena juga dapat dihasilkan dengan penambahan oksigen sehingga disebut dengan proses *Oxidative Dehydrogenation* (OXD). Dengan proses ini konversi butena, selektivitas butadiena, dan umur katalis dapat ditingkatkan. Selain itu oksigen sendiri dapat bertindak untuk regenerasi katalis secara oksidatif. Proses yang berlangsung melibatkan dua reaksi, yaitu oksidasi butena dan dehidrogenasi butena. Butena, katalis bismuth/molibdenum atau stanum/antimon, uap, dan udara direaksikan pada suhu 480-600°C dan tekanan 0,2 atm dalam sebuah *fixed bed reactor*. Konversi butena mencapai 75-80% dengan selektivitas butadiena 88-92% (Wibowo, 2011).

4) Proses Petro Tex

Proses ini juga termasuk dehidrogenasi oksidatif untuk menghasilkan butadiena. Bahan baku yang digunakan adalah butena. Butena dikonversi dengan oksigen atau udara yang dilakukan pada suhu 550-600°C dengan bantuan katalis heterogen seperti besi dengan seng, mangan, ataupun magnesium. Dengan menambahkan uap untuk mengontrol selektivitas, konversi butena sebesar 65% dengan selektivitas terhadap butadiena mencapai 93% (Situmeang, 2016).

5) Proses Sekisui Chemical

Bahan baku yang digunakan berupa biomassa, *coal*, atau campuran gas hidrogen dan karbon monoksida. Reaksi berlangsung dalam dua buah reaktor. Reaktor pertama terjadi reaksi katalitik pada suhu 100-500°C dan tekanan 1-7,5 MPa, dengan katalis rodium menghasilkan campuran gas yang mengandung etanol dan asetaldehid. Pada reaktor kedua terjadi reaksi pembentukan butadiena dengan bantuan katalis berbasis tembaga, dengan suhu 300-500° C dan tekanan 1-7,5 Mpa. Produk utama dari reaksi kedua diseparasi untuk memisahkan butadiena dengan produk lainnya yang dapat *direcovery* (Situmeang, 2016).

6) Proses Dehidrasi

Proses yang baru dikembangkan untuk menghasilkan butadiena adalah dengan bahan baku 2,3-Butanediol dan katalis berbasis kalsium fosfat. Proses yang berlangsung adalah dehidrasi 2,3-Butanediol menjadi 1,3-Butadiena sebagai produk utama, metil etil keton dan metil propanol sebagai produk samping. Reaksi terjadi dalam empat atau lebih reaktor adiabatik yang disusun secara seri, dengan jenis reaktor yaitu *fixed bed reactor*. Kondisi operasi yang digunakan pada suhu 200-400°C dan tekanan 0,1-6 bar. Konversi 2,3-Butanediol dapat mencapai 99,99% dengan selektivitas terhadap butadiena sebesar 30-35% (Song, 2018).

1.4. Sifat Fisika dan Kimia

1) 2,3-Butanadiol

Rumus molekul : C₄H₁₀O₂

Berat molekul : 90 gr/mol

Fase : Likuid

Warna	: Tidak berwarna
Bau	: Tidak berbau
Densitas	: 1,002 gr/cm ³ pada 25°C
Titik didih	: 177°C
Titik beku	: 19°C
Kelarutan dalam air	: Misibel
Kelarutan	: Larut dalam alkohol, keton, dan eter

(Sumber: *MSDS Merck Millipore, 2018*)

2) Kalsium Fosfat Hidroksiapatit

Rumus molekul	: Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH
Berat molekul	: 502 gr/mol
Fase	: Padat
Warna	: Tidak berwarna
Bau	: Tidak berbau
Densitas	: 3,14 gr/cm ³
Titik leleh	: 1,25°C
Kelarutan dalam air	: Tidak larut

(Sumber: *MSDS Merz, 2016*)

3) 1,3-Butadiena

Rumus molekul	: C ₄ H ₆
Berat molekul	: 54 gr/mol
Fase	: Gas
Warna	: Tidak berwarna
Bau	: Seperti bensin
Densitas	: 0,615 g/cm ³ pada 25°C
Titik didih	: - 4,55°C
Titik beku	: -108,9°C
Kelarutan dalam air	: 0,735 gr/100 mL
Kelarutan	: Sangat larut dalam aseton, eter, dan etanol

(Sumber: *MSDS Prax Air, 2016*)

4) Metil Etil Keton

Rumus molekul	: C ₄ H ₈ O
Berat molekul	: 72 gr/mol
Fase	: Likuid
Warna	: Tidak berwarna
Bau	: Manis
Densitas	: 0,799 gr/cm ³ pada 25°C
Titik didih	: 79,6°C
Titik beku	: -86°C
Kelarutan dalam air	: 27,5 gr/100 mL
Kelarutan	: Larut dalam etanol, eter, benzen

(Sumber: *MSDS Pub Chem, 2018*)

5) 2-Metil Propanal

Rumus molekul	: C ₄ H ₈ O
Berat molekul	: 72 gr/mol
Fase	: Likuid
Warna	: Tidak berwarna
Bau	: <i>Extremely sharp</i>
Densitas	: 0,784 gr/cm ³ pada 25°C
Titik didih	: 62,85C
Titik beku	: -69°C
Kelarutan dalam air	: 0,089 gr/100 mL
Kelarutan	: Larut dalam etanol, eter, benzen

(Sumber: *MSDS Pub Chem, 2019*)

6) 3-Buten-2-Ol

Rumus molekul	: C ₄ H ₈ O
Berat molekul	: 72 gr/mol
Fase	: Likuid
Warna	: Tidak berwarna
Bau	: Tidak berbau

Densitas	: 0,838 gr/cm ³ pada 25°C
Titik didih	: 97,05°C
Titik beku	: -89,9°C
Klarutan dalam air	: Misibel

(Sumber: *MSDS Chemical Book, 2017*)

7) Air

Rumus molekul	: H ₂ O
Berat molekul	: 18 gr/mol
Fase	: Likuid
Warna	: Tidak berwarna
Bau	: Tidak berbau
Densitas	: 1 gr/cm ³ pada 25°C
Titik didih	: 100°C
Titik beku	: 0°C
Klarutan	: Misibel dalam etanol, metanol, aseton

(Sumber: *MSDS Pub Chem, 2017*)

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, A. N., Sularso, A., Ardhining, F., dan Hardiansyah, M. F. 2015. *Makalah Reaktor Fixed Bed Teknik Reaksi Kimia.* (Online). <https://docplayer.info/3819215-Makalah-reaktor-fixed-bed-teknik-reaksi-kimia.html>. (Diakses pada tanggal 30 April 2019)
- Aji. 2017. *Struktur Organisasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- American Chemistry Council. 2019. *Butadiene Product Summary*. Washington DC: American Chemistry.
- Badan Pusat Statistik. 2019. *Tabel Impor Menurut Komoditi*. (Online). https://www.bps.go.id/all_newtemplate.php. (Diakses pada tanggal 5 Januari 2019)
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Konsevarsi Energi Sistem Pencahayaan*. (Online). <https://www.philips.co.id/id/c-p/8718696715185/led-bohlam-lampu/spesifikasi>. (Diakses pada tanggal 9 April 2019)
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Konsevarsi Energi Sistem Pencahayaan*. (Online). <https://www.philips.co.id/id/c-p/8727900808575/lampu-linier-halogeen/spesifikasi>. (Diakses pada tanggal 9 April 2019)
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Penyusunan Neraca Sumber Daya – Bagian 1: Sumber Daya Air Spasial*. (Online). <http://big.go.id/assets/download/sni/SNI/SNI%2019-6728.1-2002.pdf>. (Diakses pada tanggal 9 April 2019)
- Budiaman, G. S. 2007. *Perancangan Reaktor*. Yogyakarta: Universitas Veteran.
- Chemical Book. 2017. *2,3-Butanediol*. (Online). https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB4853718.html. (Diakses pada tanggal 26 Desember 2018)
- Chemical Book. 2017. *3-Buten-2-Ol*. (Online). https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB7324888.htm. (Diakses pada tanggal 16 Juli 2019)

- Chuang, K. T., dan Nandakumar, K. 2000. *Tray Columns: Design Distillation*. Canada: University of Alberta.
- Coulson, J. M., dan Richardson, J. F. 2005. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design4th Edition Volume VI*. Swansea: University Wales.
- Eigenberger, G. 1992. *Fixed Bed Reactors*. Jerman: Universitas Stuttgart.
- Evans, S, dan Sherah, R. 1939. *The Furnace*. New York: Book Rix.
- Fatimura, M. 2014. *Tinjauan Teoritis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Operasi pada Kolom Destilasi*. Jurnal Media Teknik. Vol. 11(1).
- Febriantri, P. 2014. *Reaktor Fixed Bed*. Jakarta: Universitas Jayabaya.
- Felder, R. M., dan Rousseau, R. W. 1978. *Elementary Principles of Chemical Processes3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Fernandes. 2000. *Fluidized Bed Reactor for Polyethylene Production*. Brazil: Universitas Estadual de Campinas.
- Fogler, H. S. *Elements of Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. 1990. New Delhi: Prentice Hall International Series.
- Hanif, K. 2017. Jenis-Jenis Reaktor. Bandung: Politeknik Bandung.
- Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- Ivana, M. 2017. *Teknik Reaksi Kimia 2*. (Online). <https://id.scribd.com/document/341047645/Tugas-TRK-2-Kelompok-8-Jenis-Reaktor>. (Diakses pada tanggal 30 April 2019)
- Kartawijaya. 2018. *Continous Stirred Tank Reactor*. (Online). <http://www.essentialchemicalindustry.org/processes/chemical-reactors.html>. (Diakses pada tanggal 30 April 2019)
- Kementerian Perindustrian. 2016. *Investasi Sektor Butadiene*. (Online): <http://www.kemenperin.go.id/artikel/785/Kemenperin-Dukung-Investasi-Sektor-Butadiene>. (Diakses pada tanggal 25 Desember 2018)
- Kern, D. Q. 1957. *Process Heat Transfer*. Auckland: McGraw-Hill International Edition.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering2nd Edition*. New York: Johw Wiley and Sons.
- Ludwig, E. E. 1999. *Applied Process Design For Chemical dan Petrochemical*

- Plant 3rd Edition.* Houston: Gulf Publishing Company.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., dan Harriot, P. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering.* New York: McGraw-Hill International .
- Merck Millipore. 2018. *2,3-Butanediol.* (Online): http://www.merckmillipore.com>ID/id/product/23-Butanediol,MDA_CHEM-818801. (Diakses pada tanggal 25 Desember 2018)
- Merz. 2016. *Calcium Hydroxyapatite Safety Data Sheet.* (Online). <http://www.merzusa.com/wp-content/uploads/SF7806-02.pdf>. (Diakses pada tanggal 16 Juli 2019)
- Miligan, D., dan Miligan, J. 2014. *Matches.* (Online). <http://matche.com/default.html>. (Diakses pada tanggal 10 April 2019)
- Mineral Data Publishing. 2005. *Hydroxylapatite.* USA: Mineral Group.
- Perry, R. H., Green, D. W., dan Maloney, J. O. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition.* New York: McGraw-Hill Company.
- Peter, M. S., dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics For Chemical Engineers4th Edition Volume IV.* New York: McGraw-Hill Book Company.
- Pramono, N. 2012. *Perbandingan Perseorangan Terbatas di Beberapa Negara.* Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Praxair. 2016. *1,3-Butadiene Safety Data Sheet.* Kanada: Praxair Canada Inc.
- Praxair. 2016. *Praxair Material Safety Data Sheet.* Kanada: Praxair Canada Inc.
- Pub Chem. 2019. *Isobutyraldehyde.* (Online). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/ISOBUTYRALDEHYDE>. (Diakses pada tanggal 16 Juli 2019)
- Pub Chem. 2018. *Methyl Ethyl Ketone.* (Online). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methyl-ethyl-ketone#section=Chemical-Co-Occurrences-in-Literature>. (Diakses pada tanggal 16 Juli 2019)
- Pub Chem. 2017. *Water.* (Online). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Water>. (Diakses pada tanggal 16 Juli 2019)
- Ramdani. 2019. *Struktur Organisasi.* Semarang: Universitas Dipenogoro.
- Saefrudin. 2017. *Pengorganisasian Dalam Manajemen.* Jurnal Al-Hikmah. Vol. 5(2) : 56-67.

- Safety School. 2019. *Tugas dan Tanggung Jawab HSE*. (Online). www.indonesiasafetycenter.org/component/content/article. (Diakses pada tanggal 10 April 2019)
- Sanusi. 2017. *Tugas Direktur Utama*. (Online). [https://id.scribd.com/document/358626342/Tugas Direktur Utama](https://id.scribd.com/document/358626342/Tugas-Direktur-Utama). (Diakses pada tanggal 12 April 2019)
- Situmeang, E. 2016. *Butadiena*. (Online): <https://id.scribd.com/document/325191316/BAB-1-Butadiena>. (Diakses pada tanggal 25 Desember 2018)
- Sleekr. 2018. *Panduan Lengkap UU Ketenagakerjaan Indonesia*. (Online). <https://sleekr.co/blog/panduan-lengkap-undang-undang-ketenagakerjaan-di-indonesia/>. (Diakses pada tanggal 12 April 2019)
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbot, M. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics^{6th} Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Song, D.S. 2016. *Kinetic Model Development for Dehydration of 2,3-Butanediol to 1,3-Butadiene and Methyl Ethyl Ketone over an Amorphous Calcium Phosphate Catalyst*. Industrial and Engineering Chemistry Research. Vol. 1(1).
- Song, D.S. 2018. *Method of Preparing 1,3-Butadiene and Methyl Ethyl Ketone from 2,3-Butanediol Using Adiabatic Reactor*. Korea Selatan: SK Innovation Co.
- Thomas, S., Balakrishnan, P., dan Sreekala, M.S. 2018. *Fundamental Biomaterials: Ceramics*. India: Mathew Deans.
- Treybal, R. E. 1981. *Mass-Transfer Operation*. New York: McGraw-Hill.
- Van Winkle, M. 1967. *Distillation*. New York: McGraw-Hill.
- Vilbrandt, F. C., dan Dryden, C. E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design^{4th} Edition Volume IV*. New York: McGraw-Hill International Edition.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Boston: Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering.
- Wibowo, H. B. 2011. *Analisis Metode Produksi Butadiena yang Efisien Diterapkan di Indonesia*. Penelitian Pusat Teknologi Roket. Vol. 6(3) : 77-85.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Zhang, W., Xue, X., Yin, Q., Jia, H., Wang, J., Ji, Q., dan Xu, Z. 2017. *Enhanced Compatibility and Mechanical Properties of Carboxylated Acrylonitrile Butadiene Rubber/Styrene Butadiene Rubber by Using Graphene Oxide ad Reinforcing Filler*. Composite Part B. Vol. 11(1): 243-250.