

# **PRA-RANCANGAN PABRIK *DIISOBUTYL KETONE***

## **DARI ACETON KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat**

**Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**



**Oleh:**

**Nama : Satria Legawa**

**Nama : Hammaam Mukti**

**No. Mahasiswa: 19521150**

**No. Mahasiswa: 19521152**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**

**2023**

# LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

ii

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PRA-RANCANGAN PABRIK DIISOBUTYL KETONE DARI ACETON KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Satria Legawa

Nama : Hammaam Mukti

No. Mahasiswa: 19521150

No. Mahasiswa: 19521152

Yogyakarta, 8 November 2023

Menyatakan bahwa seluruh hasil Prarancangan Pabrik ini adalah hasil karya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun. Demikian surat pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.



Satria Legawa  
(19521150)



Hammaam Mukti  
(19521152)

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**  
**PRA-RANCANGAN PABRIK DIISOBUTYL KETONE DARI ACETON**  
**KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN**

**PRARANCANGAN PABRIK**

**Oleh:**

**Nama : Satria Legawa**

**Nama : Hammaam Mukti**

**No. Mahasiswa: 19521150**

**No. Mahasiswa: 19521152**

**Yogyakarta, 8 November 2023**

**Pembimbing,**



**Lilis Kistriyani, S.T., M.Eng.**

**NIP: 155211303**

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**  
**PRA-RANCANGAN PABRIK DIISOBUTYL KETONE**  
**DARI ACETON KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN**

**Oleh :**

Nama : Satria Legawa  
No. Mahasiswa : 19521150

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat**  
**untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**

**Konsentrasi Teknik Kimia Program Studi Teknik Kimia**

**Fakultas Teknologi Industri**  
**Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, 22 Desember 2023

**Tim Penguji,**

Lilis Kistriyani, S.T., M.Eng

Ketua

 27/12/2023

Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D.

Anggota 1

 27/12/2023

Umi Rofiqah, S.T., M.T.

Anggota 2



**Mengetahui :**

**Ketua Program Studi Teknik Kimia**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Universitas Islam Indonesia**





**Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D.**

## PRAKATA

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan kelimpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam tak lupa pula dipanjatkan atas junjungan kita Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wasallam, sahabat serta pengikutnya.

Tugas Akhir Pra-Rancangan Pabrik yang berjudul “**Pra-Rancangan Pabrik Diisobutyl Ketone dari Aceton Kapasitas 15.000 ton/tahun**”, disusun sebagai penerapan dari ilmu teknik kimia yang telah diperoleh selama dibangku kuliah serta menyelesaikan permasalahan yang terjadi di lapangan agar dapat menjembatani antara sisi akademis dengan realita lapangan, dan merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulisan laporan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar atas bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang selalu melimpahkan rahmat, karunia serta hidayah-Nya.
2. Kedua orang tua yang tercinta. Penulis sangat bangga kepada keluarga yang telah memberikan doa, motivasi dan dukungan yang tiada hentinya, serta

dorongan semangat dan motivasi terlebih anggaran selama mengenyam pendidikan S1 Teknik Kimia di Universitas Islam Indonesia.

3. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Ibu Lilis Kistriyani, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, serta dukungannya dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini
6. Seluruh civitas akademika di lingkungan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
7. Teman-teman Teknik Kimia 2019 yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa.
8. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran atau masukan guna menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak. Aamiin.

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Bismillahirrahmanirrahim.*

*Alhamdulillahilabbil'alaminn.*

Rasa syukur dan tulus saya ucapkan terimakasih untuk dipersembahkan kepada:

1. Allah SWT dengan segala rahmat, nikmat dan karunia-Nya yang tak terhingga sehingga saya dapat menyelesaikan masa studi S1 Teknik Kimia saya di UII. Semoga ilmu yang saya peroleh bermanfaat dan menjadi berkah dunia akhirat.
2. Nabi Muhammad SAW untuk syafa'at, ajaran dan perjuangan yang Beliau lakukan untuk tegaknya syari'at islam.
3. Mama, Papa, Mas Krisna, Mba Dyan, Mba Ira dan Adek Rachel terimakasih atas dukungan moral maupun materinya. Terimakasih atas semua pengorbanan, kasih sayang dan kepercayaan untuk Satria dengan selalu mendengarkan keluh kesah selama kuliah, memberikan doa, nasehat, motivasi, dan kesabaran untuk memberikan dukungan apapun untuk Satria selama kuliah S1 Teknik Kimia di UII.
4. Dosen Pembimbing skripsi saya yaitu Ibu Lilis Kistriyani, S.T., M.Eng. Terimakasih telah memberikan bimbingan serta pengarahan dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini dan kesempatan untuk bisa mengikuti ujian.
5. Sahabat sekaligus patner Tugas Akhir saya yaitu Hammaam Mukti yang telah memberikan waktu, kerja samanya, dan kesabarannya selama mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Sahabat – sahabat saya, Nizar, Mindzil, Ali, dan Bagus, yang selalu bersedia meluangkan waktunya untuk melewati rasa khawatir dan selalu ada disaat suka maupun duka. Terimakasih telah selalu mendengar keluh kesah yang saya alami, terimakasih atas motivasi, nasehat, wejangan wejangannya.
7. Sahabat saya, Diko dan Samsul, yang walaupun sangat jarang bertemu tetapi selalu memberikan kebahagiaan, semangat dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi. Semoga sukses dan sehat selalu untuk kalian.
8. Teman-teman angkatan seperjuangan di Teknik Kimia 2019, teman-teman KKN, dan teman-teman lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas ilmu, canda, tawa dan banyak memberikan inspirasi hidup untuk masa depan. Terima kasih sudah mengizinkan saya untuk menjadi bagian dari keluarga ini. Sukses selalu teman-teman.
9. Teman-teman Super Nine, teman-teman SMA, dan teman-teman lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terima kasih telah menjadi teman hebat yang bisa melewati rintangan semasa menjalani kuliah ini. Sukses semua untuk kedepannya.

**SATRIA LEGAWA**



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
PRAKATA.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
ABSTRAK .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. 1. Latar Belakang.....	1
1. 2. Penentuan Kapasitas Pabrik.....	2
1. 3. Tinjauan Pustaka .....	8
1. 4. Tinjauan Kinetika Dan Tinjauan Termodinamika .....	15
BAB II PERANCANGAN PRODUK.....	23
2.1. Spesifikasi Produk, Bahan Baku dan Bahan Pendukung .....	23
2.2. Pengendalian Kualitas .....	26
BAB III PERANCANGAN PROSES .....	31
3.1. Diagram Alir Proses dan Material .....	31
3.2. Uraian Proses .....	33
3.3. Spesifikasi Alat .....	35
3.4. Neraca Massa .....	45
3.5. Neraca Panas .....	47
BAB IV PERANCANGAN PABRIK .....	51
4.1. Lokasi Pabrik ( <i>Plant Location</i> ) .....	51
4.2. Tata Letak Pabrik ( <i>Plant Layout</i> ).....	55

4.3.	Tata letak Mesin/Alat Proses ( <i>Machines Layout</i> ).....	56
4.4.	Organisasi Perusahaan.....	58
<b>BAB V UTILITAS .....</b>		<b>67</b>
5.1.	Unit Penyediaan Dan Pengolahan Air .....	67
5.2.	Unit Pembangkit Steam.....	73
5.3.	Unit Pembangkit Listrik.....	74
5.4.	Unit Penyedia Bahan Bakar.....	76
5.5.	Unit Pengolahan Limbah.....	76
5.6.	Spesifikasi Alat Unit Utilitas .....	80
<b>BAB VI EVALUASI EKONOMI .....</b>		<b>88</b>
6.1.	Penaksiran Harga Alat.....	90
6.2.	Dasar Perhitungan .....	94
6.3.	Perhitungan Biaya .....	95
<b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>105</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>107</b>
<b>LAMPIRAN A PERANCANGAN REAKTOR .....</b>		<b>109</b>
<b>LAMPIRAN B PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD).....</b>		<b>168</b>
<b>LAMPIRAN C KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN .....</b>		<b>170</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Data Ekspor Diisobutyl Ketone di Indonesia.....	4
Tabel 1. 2. Data Impor Diisobutyl Ketone di Indonesia .....	5
Tabel 1. 3. Perusahaan Yang Memproduksi DIBK di Dunia.....	6
Tabel 1. 4. Perbandingan Proses Pembentukan Produk DIBK .....	14
Tabel 1. 5. Perbandingan Proses Pembentukan Produk DIBK (Lanjutan) .....	15
Tabel 1. 6. Harga $\Delta H_f^0$ pada Masing-masing Komponen.....	17
Tabel 1. 7. Harga $\Delta G_f^0$ pada Masing-masing Komponen .....	18
Tabel 1. 8. Hasil Perhitungan Konstanta Keseimbangan Panas Pada Reaktor 1 .....	22
Tabel 1. 9. Hasil Perhitungan Konstanta Keseimbangan Panas Pada Reaktor 2 .....	22
Tabel 2. 1. Spesifikasi Produk, Bahan Baku, Dan Bahan Pendukung .....	23
Tabel 2. 2. Spesifikasi Produk, Bahan Baku, Dan Bahan Pendukung (Lanjutan) .....	24
Tabel 2. 3. Spesifikasi Produk, Bahan Baku, Dan Bahan Pendukung (Lanjutan) .....	25
Tabel 2. 4. Spesifikasi Pd/Amberlyst-15 .....	26
Tabel 3. 1. Spesifikasi Tangki Bahan Baku dan Produk.....	35
Tabel 3. 2. Spesifikasi Reaktor .....	36
Tabel 3. 3. Spesifikasi Vaporizer .....	37
Tabel 3. 4. Spesifikasi Menara Distilasi .....	38
Tabel 3. 5. Spesifikasi Heat Exchanger (HE-01 – HE-02) .....	39
Tabel 3. 6. Spesifikasi Heat Exchanger (HE-03 - HE-05) .....	40
Tabel 3. 7. Spesifikasi Kondensor .....	41
Tabel 3. 8. Spesifikasi Pompa (P-01 - P-04).....	42
Tabel 3. 9. Spesifikasi Pompa (P-05 - P-07).....	43

Tabel 3. 10. Spesifikasi Pompa (P-08 - P-10).....	44
Tabel 3. 11. Neraca Massa Total Sistem.....	45
Tabel 3. 12. Neraca Massa Reaktor (R-01).....	45
Tabel 3. 13. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-01) .....	46
Tabel 3. 14. Neraca Massa Reaktor (R-02).....	46
Tabel 3. 15. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-02) .....	47
Tabel 3. 16. Neraca Panas Reaktor (R-01).....	47
Tabel 3. 17. Neraca Panas Reaktor (R-02).....	47
Tabel 3. 18. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01) .....	48
Tabel 3. 19. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-02) .....	48
Tabel 3. 20. Neraca Panas Vaporizer (V-01).....	48
Tabel 3. 21. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-01) .....	48
Tabel 3. 22. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-02) .....	49
Tabel 3. 23. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-03) .....	49
Tabel 3. 24. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-04) .....	49
Tabel 3. 25. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-05) .....	49
Tabel 3. 26. Neraca Panas Kondensor (CD-01).....	50
Tabel 3. 27. Neraca Panas Kondensor (CD-02).....	50
Tabel 4. 1. Keterangan Tata Letak Pabrik .....	58
Tabel 4. 2. Pembagian Jadwal Shift.....	65
Tabel 4. 3. Pembagian Jadwal Shift (Lanjutan) .....	65
Tabel 4. 4. Penggolongan Gaji Karyawan .....	66
Tabel 5. 1. Jumlah Kebutuhan Air .....	73
Tabel 5. 2. Kebutuhan Listrik Unit Proses.....	75
Tabel 5. 3. Kebutuhan Listrik Unit Utilitas .....	75

Tabel 5. 4. Kebutuhan Listrik Total.....	76
Tabel 5. 5. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-01 - PU-03) .....	85
Tabel 5. 6. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-04 - PU-06) .....	86
Tabel 5. 7. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-07 - PU-09) .....	87
Tabel 6. 1. Index Harga Alat.....	90
Tabel 6. 2. Index Harga Alat (Lanjutan).....	91
Tabel 6. 3. Harga Alat Unit Proses .....	93
Tabel 6. 4. Harga Alat Unit Utilitas .....	94
Tabel 6. 5. Fixed Capital Investment (FCI) .....	100
Tabel 6. 6. Working Capital Investment (WCI).....	100
Tabel 6. 7. Direct Manufacturing Cost (DMC).....	101
Tabel 6. 8. Indirect Manufacturing Cost (IMC).....	101
Tabel 6. 9. Fixed Manufacturing Cost (FMC) .....	101
Tabel 6. 10. Manufacturing Cost (MC).....	101
Tabel 6. 11. General Expenses (GE).....	102
Tabel 6. 12. Total Production Cost (TPC) .....	102
Tabel 6. 13. Annual Fixed Cost (Fa).....	103
Tabel 6. 14. Regulated Cost (Ra).....	103
Tabel 6. 15. Annual Variable Cost (Va) .....	103
Tabel 7. 1. Kesimpulan Evaluasi Ekonomi.....	106

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Grafik Ekspor Diisobutyl Ketone di Indonesia Tahun 2018 - 2022.....	4
Gambar 1. 2. Grafik Impor Diisobutyl Ketone di Indonesia Tahun 2018 - 2022 .....	5
Gambar 3. 1. Diagram Alir Kualitatif .....	31
Gambar 3. 2. Diagram Alir Kuantitatif .....	32
Gambar 4. 1. Rencana Lokasi Pendirian Pabrik .....	51
Gambar 4. 2. Rencana Tata Letak Pabrik .....	57
Gambar 4. 3. Struktur Organisasi Pabrik .....	63
Gambar 6. 1. Grafik Hubungan Antara Indeks Harga Alat Dengan Tahun .....	92
Gambar 6. 2. Grafik Evaluasi Ekonomi .....	104

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran A. Perancangan Reaktor .....	109
Lampiran B. Process Engineering Flow Diagram (PEFD) .....	168
Lampiran C. Kartu Konsultasi Bimbingan Prarancangan .....	170

## DAFTAR NOTASI

DIBK	: Diisobutyl Ketone
MIBK	: Methyl Isobutyl Ketone
DAA	: Diaceton Alcohol
TDA	: Triaceton Dialcohol
T	: Suhu atau Temperatur, °C
D	: Diameter, m
$\mu$	: Viskositas, cP
$\rho$	: Densitas, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_c$	: Densitas campuran, kg/ m <sup>3</sup>
F <sub>c</sub>	: Laju alir volumetrik, m <sup>3</sup> /jam
r <sub>A</sub>	: Laju transfer massa, kmol/min
DBL	: Difusivitas gas
BM	: Berat molekul (kg/mol)
BMC	: Berat molekul campuran (kg/mol)
KBL	: Koefisien transfer massa, m/jam
MH	: Bilangan Hatta
db <sub>o</sub>	: Diameter gelembung, m
NO	: Luas orifice, cm <sup>2</sup>
c	: Pitch, cm
D <sub>pc</sub>	: Luas perforated plate, m <sup>2</sup>
DR	: Diameter reaktor, m



V : Volume, m<sup>3</sup>

H : Tinggi, m

$\varepsilon_g$  : Hold up gas

A : Luas permukaan, m

hD : Dry pressure drop, m

hL : Hydraulic head, m

hg : Residual gas pressure drop, m

ts : Tebal shell, in

r : Jari-jari dalam reaktor, in

th : Tebal head, m

LMTD : Long Mean Temperature Different, K

OD : Diameter luar, m

ID : Diameter dalam, m

$\varepsilon$  : Efisiensi

OA : Tinggi head, m

l : Jarak lilitan, m

Dh : Diameter helix, ft

Re : Bilangan Reynold

Pr : Bilangan Prandatl

## ABSTRAK

Dengan rumus kimia  $C_9H_{18}O$ , *diisobutyl ketone* (DIBK) adalah produk yang sangat berharga dalam industri kimia. Banyak digunakan sebagai pelarut dalam pembuatan coating, perekat, pembersih, dan *sealant*. Sementara kebutuhan DIBK sangat besar, dengan impor rata-rata 158.732,6 Ton/Tahun dari 2018 - 2022, pabrik DIBK masih sangat jarang ditemukan di Indonesia. Prarancangan Pabrik DIBK ini direncanakan didirikan di Desa Midugading, Kecamatan Tarik, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur dengan bahan baku acetone ( $C_6H_6O$ ) dan hidrogen ( $H_2$ ). Ketersediaan bahan baku, sarana transportasi yang memadai, tenaga kerja, perizinan, dan kondisi sosial masyarakat sekitar adalah semua faktor yang memengaruhi keberhasilan pabrik ini. Diharapkan pabrik ini dapat memproduksi DIBK sebanyak 15.000 Ton/Tahun dengan waktu operasi 24 jam sehari dalam 330 hari/tahun. Dengan menggunakan katalis Pd/Amberlyst15, bahan baku acetone 2.706,01 kg/jam dan hidrogen 62.634 kg/jam digunakan. Dalam reaktor fix bed, proses reaksi dilakukan pada suhu  $120^{\circ}C$  dan tekanan 1 atm. Untuk memenuhi kebutuhan utilitas pabrik ini, ada unit penyedia dan pengolahan air, unit penyedia steam, unit pembangkit listrik, unit penyedia bahan bakar, dan unit pengolahan limbah. Berdasarkan analisa kelayakan ekonomi terhadap pabrik DIBK menunjukkan *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak 62,05% dan setelah pajak 43,43%. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak 1,61 tahun dan setelah pajak 2,3 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 35,02% serta *Shut Down Point* (SDP) sebesar 34,99%. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) terhitung sebesar 11,23%. Dari data analisa kelayakan tersebut dapat disimpulkan bahwa pabrik ini memiliki keuntungan dan layak untuk didirikan.

**Kata Kunci:** *DIBK, Aceton, Kondensasi Aldol, Reaktor Fix Bed*

## ABSTRACT

With the chemical formula  $C_9H_{18}O$ , diisobutyl ketone (DIBK) is a highly valuable product in the chemical industry. It is widely used as a solvent in the production of coatings, adhesives, cleaners, and sealants. While the demand for DIBK is high, with an average import of 158.732,6 tons per year from 2018 to 2022, DIBK plants are still rare in Indonesia. The pre-design of this DIBK plant is planned to be established in Midugading Village, Tarik District, Sidoarjo, East Java, using acetone ( $C_6H_6O$ ) and hydrogen ( $H_2$ ) as raw materials. The availability of raw materials, adequate transportation facilities, labor force, permits, and the social conditions of the surrounding community are all factors that affect the success of this plant. It is expected that the plant can produce 15.000 tons per year of DIBK, operating 24 hours a day for 330 days per year. Using Pd/Amberlyst15 catalyst, the raw material requirements are 2.706,01 kg/hour of acetone and 62.634 kg/hour of hydrogen. The reaction process takes place in a fixed bed reactor at a temperature of  $120^\circ C$  and a pressure of 1 atm. To meet the utility needs of this plant, there are units for water supply and treatment, steam supply, power generation, fuel supply, and waste treatment. Based on economic viability analysis of the factory, DIBK showed *Percent Return on Investment* (ROI) before 62,05% and after 43,43%. *Pay Out Time* (POT) before 1,61 years and after 2,3 years. *Break Even Point* (BEP) is 35,02% and *Shut Down Point* (SDP) is 34,99%. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) is 11,23%. From the validity analysis data, it can be concluded that this factory has advantages and is worthy to be established.

**Keywords:** *DIBK, Acetone, Aldol Condensation, Fixed Bed Reactor*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1. 1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi industri yang besar dan berkembang. Seiring dengan perkembangan sektor industri dunia, Indonesia juga harus beradaptasi dan mengikuti tren global dalam prarancangan pabrik untuk memperkuat daya saing industri nasional. Dalam konteks ini, prarancangan pabrik yang efisien, berkelanjutan, dan inovatif menjadi kunci kesuksesan bagi perusahaan di Indonesia.

Prarancangan pabrik merupakan tahap awal yang penting dalam pengembangan fasilitas industri yang efisien dan berkinerja tinggi. Terdapat berbagai aspek yang perlu dipertimbangkan seperti aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan untuk mencapai tujuan produksi yang optimal. Pabrik yang dirancang dengan baik dapat memberikan keuntungan kompetitif bagi perusahaan dalam hal produktivitas, kualitas produk, efisiensi energi, dan pengelolaan limbah. Prarancangan pabrik yang cermat juga mempertimbangkan aspek keselamatan operasional, pemeliharaan fasilitas, dan faktor-faktor risiko lainnya.

Pabrik yang akan dirancang adalah pabrik produksi *Diisobutyl Ketone* (DIBK) dari Aceton. DIBK merupakan senyawa organik yang digunakan dalam berbagai industri seperti industri cat, pelarut, dan produk-produk kimia lainnya. Proses produksi DIBK melibatkan reaksi kimia antara aceton dan alkohol isobutyl dalam keberadaan katalis.

Alasan utama dibutuhkannya pabrik produksi DIBK adalah permintaan yang terus meningkat dari industri-industri yang menggunakan DIBK sebagai bahan baku. Permintaan ini didorong oleh pertumbuhan industri cat, pelarut, dan produk kimia lainnya yang menggunakan DIBK sebagai komponen penting. Dengan adanya pabrik produksi DIBK yang efisien, dapat memenuhi kebutuhan pasar yang berkembang (Bassett & Keen, 2020).

Pabrik produksi DIBK akan didesain dengan mempertimbangkan proses produksi yang efisien, penggunaan teknologi canggih, keberlanjutan, dan keandalan operasional. Proses produksi DIBK melibatkan reaksi esterifikasi antara aceton dan alkohol isobutyl dalam keberadaan katalis. Penggunaan katalis yang efektif dan metode pemurnian produk yang tepat akan menjadi faktor kunci dalam merancang pabrik yang optimal.

## **1. 2. Penentuan Kapasitas Pabrik**

Dalam penentuan kapasitas pabrik *Diisobutyl Ketone* (DIBK) dari Aceton, prinsip *supply and demand* dapat digunakan sebagai dasar perhitungan. Prinsip ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti data ekspor, impor, konsumsi, produksi, dan kapasitas pabrik yang telah berdiri.

Data ekspor dan impor DIBK serta Aceton perlu dianalisis untuk memahami kondisi pasar yang ada. Data ini dapat diperoleh dari lembaga statistik perdagangan internasional, seperti Badan Pusat Statistik, Kementerian Perdagangan atau lembaga perdagangan internasional terkait.

Melalui analisis ini, dapat diketahui seberapa besar permintaan dan penawaran DIBK di pasar domestik maupun global.

Selanjutnya, data konsumsi dan produksi DIBK juga perlu dilakukan perhitungan. Data konsumsi dapat diperoleh dari penelitian pasar atau laporan industri terkait. Sedangkan data produksi dapat diperoleh dari pabrik-pabrik DIBK yang telah berdiri atau data produksi Aceton yang dapat dijadikan acuan untuk produksi DIBK. Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan perkiraan jumlah DIBK yang dibutuhkan oleh pasar.

Pabrik DIBK direncanakan berdiri pada tahun 2030, sehingga yang perlu diketahui ialah kebutuhan ditahun 2030 dengan metode yang sama.

Pendekatan garis lurus,  $y = mx + C$

$y$  = Kebutuhan Impor/Ekspor DIBK

$m$  = Slope

$x$  = Tahun ke 2030

$C$  = *Intercept y*

### **1. 2. 1. Data Ekspor dan Impor**

Dalam penentuan kapasitas pabrik DIBK dapat dilihat dari kebutuhan impor maupun ekspor dalam negeri untuk mencukupi kebutuhan. Data impor dan ekspor tersendiri menyatakan data *Supply* dan *Demand* negara.

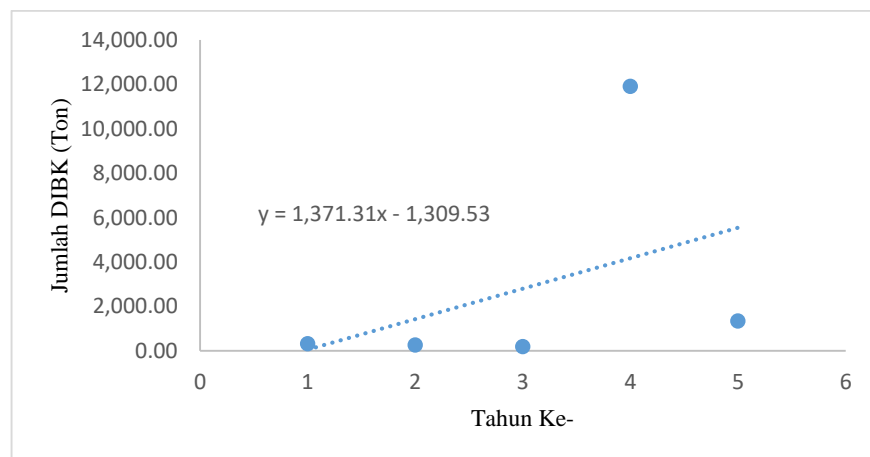
Berikut merupakan data ekspor DIBK:

*Tabel 1. 1. Data Ekspor Diisobutyl Ketone di Indonesia*

No.	Tahun	Ekspor Diisobutyl Ketone (Ton)
1	2018	315,40
2	2019	257,98
3	2020	191,80
4	2021	11.911,72
5	2022	1.345,07
<b>Rata - rata</b>		<b>2804,394</b>

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2023)

Data ekspor DIBK dari tahun 2018-2022 pada Tabel 1.1. diproyeksikan pada Gambar 1.1. sehingga didapatkan persamaan regresi linear sebagai berikut:



*Gambar 1. 1. Grafik Ekspor Diisobutyl Ketone di Indonesia Tahun 2018 - 2022*

Data ekspor menggambarkan permintaan dari pasar internasional. Kebutuhan ekspor DIBK dapat diketahui dengan perhitungan regresi linear, dimana diprediksikan ekspor dari DIBK pada tahun 2030 mencapai 16.517,50 Ton.

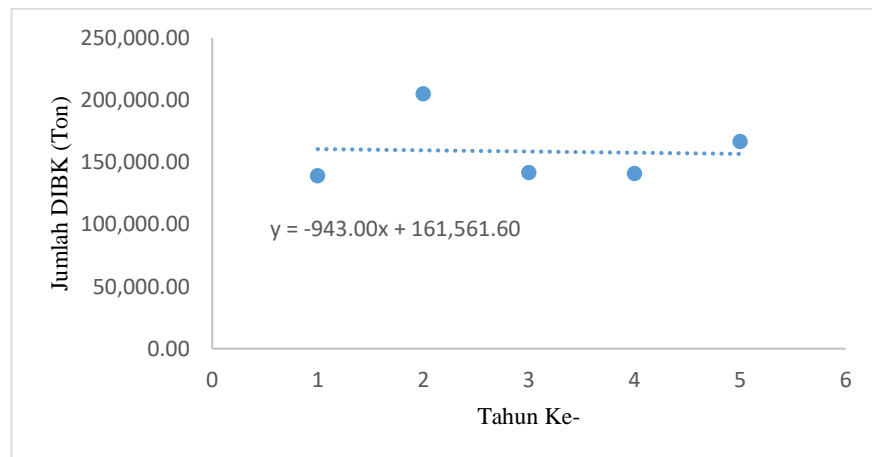
Setelah mengetahui data permintaan dari pasar internasional maka harus diketahui data impor kebutuhan sehingga pabrik DIBK dapat melihat besarnya pasar yang ada. Berikut data impor DIBK ke Indonesia:

Tabel 1. 2. Data Impor Diisobutyl Ketone di Indonesia

No.	Tahun	Impor Diisobutyl Ketone (Ton)
1	2018	139.202,00
2	2019	205.144,00
3	2020	141.802,00
4	2021	140.912,00
5	2022	166.603,00
<b>Rata - rata</b>		<b>158.732,60</b>

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2023)

Data impor DIBK dari tahun 2018-2022 pada Tabel 1.2. diproyeksikan pada Gambar 1.2. sehingga didapatkan persamaan regresi linear sebagai berikut:



Gambar 1. 2. Grafik Impor Diisobutyl Ketone di Indonesia Tahun 2018 - 2022



Data impor mencerminkan produk yang diimpor dari luar negeri untuk memenuhi kebutuhan pasar. Kebutuhan impor DIBK dapat diketahui dengan perhitungan regresi linear, dimana diprediksikan impor dari DIBK pada tahun 2030 mencapai 149.302,60 Ton.

### 1. 2. 2. Data Konsumsi dan Produksi

Dari berbagai sumber data yang ada, kami tidak menemukan sumber data yang jelas dan pasti mengenai data produksi dan konsumsi DIBK, sehingga kami hanya menggunakan data dari jumlah rata-rata Impor dan rata-rata Ekspor, karena kami menginginkan penurunan nilai Impor dan bisa Ekspor keluar negeri. Akan tetapi, kami menemukan beberapa perusahaan yang memproduksinya dan dapat dilihat pada Tabel 1. 3.

*Tabel 1. 3. Perusahaan Yang Memproduksi DIBK di Dunia*

<b>Perusahaan</b>	<b>Kapasitas</b>	<b>Sumber</b>
Shell Nederland Chemie Pernis (Belanda)	5.000 Ton/Tahun	Block et al., 2020
PRASOL CHEMICALS PVT. LTD. (India)	1.500 Ton/Tahun	MPCB Ex Summary, 2020
Chemi Care (India)	15.000 Ton/Tahun	<a href="http://indiamart.com/chemi-care">indiamart.com/chemi-care</a>
Eastman Chemical Company (USA)	20.000 Ton/Tahun	<a href="http://indiamart.com/chemi-care">indiamart.com/chemi-care</a>

### 1. 2. 3. Analisis *Supply and Demand*

Perlu dicatat bahwa rumus Kapasitas Pabrik Kimia = *Demand – Supply*, memberikan perkiraan kapasitas pabrik kimia berdasarkan data yang tersedia. Namun, ada faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam perhitungan kapasitas pabrik yang lebih rinci, seperti efisiensi produksi, faktor-faktor teknis, permintaan pasar yang berfluktuasi, dan data kapasitas pabrik yang telah berdiri.

Permintaan atau *demand* harus mencakup konsumsi domestik (konsumsi dalam negeri) dan ekspor. Hal ini karena permintaan pada dasarnya mencerminkan jumlah produk yang dibutuhkan oleh pasar dalam negeri dan pasar luar negeri. Konsumsi domestik menggambarkan konsumsi oleh konsumen dalam negeri, sementara ekspor menggambarkan permintaan dari pasar internasional.

Pasokan atau *supply* harus mencakup produksi dan impor. Pasokan mencerminkan jumlah produk yang tersedia untuk memenuhi permintaan. Produksi mencakup jumlah barang yang diproduksi dalam negeri, sementara impor mencerminkan produk yang diimpor dari luar negeri untuk memenuhi kebutuhan pasar.

Ditahun 2030 diperoleh nilai Impor sebesar 149.302,60 Ton/Tahun, dan nilai Ekspor sebesar 16.517,50 Ton/Tahun. Dan ketika dihitung dengan rumus kapasitas didapatkan nilai -132.785,10 Ton/Tahun. Hasil perhitungan dengan nilai minus dikarenakan data

konsumsi dan produksi yang tidak dapat diketahui, sehingga perhitungan kapasitas pabrik menggunakan data yang terdapat pada kapasitas produksi yang telah berdiri dan data impor.

#### **1. 2. 4. Kapasitas Pabrik DIBK**

Dengan menggunakan data – data yang bisa didapatkan, maka penentuan kapasitas pabrik tidak bisa hanya menggunakan prinsip *Supply and Demand*. Oleh karena itu, digunakan data pabrik yang sudah berdiri di dunia, seperti disajikan pada Tabel 1.3 yang berasal dari negara Belanda, India, dan USA.

Dengan demikian perancangan kapasitas pabrik DIBK akan dibuat sebesar 15.000 Ton/Tahun. Dengan tujuan keberadaan pabrik DIBK ini dapat memenuhi kebutuhan bahan baku DIBK dalam negeri dan dapat mengurangi impor dari luar negeri.

#### **1. 3. Tinjauan Pustaka**

*Diisobutyl Ketone* (DIBK) adalah senyawa kimia yang termasuk dalam kelompok ketone. Strukturnya terdiri dari dua gugus isobutil ( $C_4H_9$ ) yang terikat pada atom karbon pusat yang memiliki gugus oksigen ganda ( $C=O$ ). Formula kimianya adalah  $C_9H_{18}O$ .

DIBK adalah senyawa organik yang umum digunakan dalam industri, terutama sebagai pelarut, bahan tambahan bahan bakar, atau bahan

kimia antara dalam produksi berbagai produk. Proses produksi DIBK melibatkan reaksi acetone dengan metanol menggunakan katalis asam.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengoptimalkan proses produksi DIBK dan membandingkan alternatif proses yang ada. Dalam penelitian ini, beberapa faktor yang umumnya diperhatikan adalah efisiensi reaksi, kecepatan reaksi, selektivitas produk, pemisahan produk, dan keberlanjutan proses.

Dalam produksi DIBK dari bahan baku acetone, proses yang digunakan adalah kondensasi aldol. Kondensasi aldol memainkan peran penting dalam sintesis organik untuk pembentukan ikatan C–C, dan memiliki banyak penerapan dalam sintesis zat kimia halus. Berdasarkan penelitian sebelumnya, reaksi kondensasi aldol dapat dikatalisis oleh katalis asam/basa dan dapat secara efisien terjadi di atas katalis asam, basa, atau katalis bifungsional asam-basa (Parejas et al., 2019).

Meskipun menggunakan bahan baku yang sama, pada reaksi pembentukan DIBK terdapat perbedaan penggunaan reaktan. Perbedaan ini pula yang akan menghasilkan konversi DIBK yang berbeda dan bisa dijadikan sebagai acuan dalam pemilihan proses.

Berikut rincian dari masing-masing proses pembentukan DIBK yang ditinjau:

### **1. Penggunaan *Triacetone Dialkohol* (TDA) Sebagai Reaktan**

Berdasarkan jurnal paten US8809592B2, reaktan yang digunakan untuk memproduksi DIBK adalah TDA. TDA dapat diperoleh dari unit produksi DAA (*Diacetone Alkohol*). Katalis bifungsional yang digunakan adalah katalis asam padat (seperti resin sulfonat, zeolit, tanah liat asam, dll) yang didukung logam seperti Pd, Pt, Ni, dll pada permukaannya (Rosso, 2010).

TDA dan katalis bifungsional dimasukkan ke dalam reaktor kontinyu. Katalis bifungsional memiliki peran ganda yaitu komponen asam memfasilitasi reaksi kondensasi aldol, sedangkan logam transisi memfasilitasi reaksi dehidrasi dan hidrogenasi. Reaktor tersebut kemudian ditutup dan diberi tekanan hidrogen antara 1-100 bar. Reaktor tersebut lalu dipanaskan pada suhu antara 10-200°C selama waktu reaksi 5-300 menit. Pada kondisi ini, akan terjadi reaksi dehidrasi TDA membentuk senyawa antara, diikuti dengan reaksi hidrogenasi yang akan membentuk DIBK.

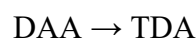
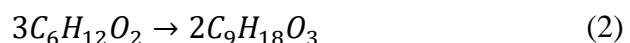
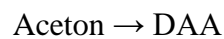
Setelah proses reaksi selesai, campuran hasil reaksi yang mengandung DIBK, pelarut, dan produk samping akan dipisahkan dengan metode distilasi. DIBK kemudian akan dimurnikan lebih lanjut melalui proses kristalisasi atau distilasi vakum untuk memisahkannya dari senyawa-senyawa lain. Secara berkala, katalis juga perlu diaktivasi

kembali dengan metode seperti pemanasan, reduksi menggunakan hidrogen, atau metode lainnya. Dengan melakukan proses ini, didapatkan hasil konversi TDA hingga 100% dan selektivitas pembentukan DIBK hingga 85%, sehingga proses ini cukup efisien untuk memproduksi DIBK.

Mekanisme reaksi kimia pembuatan DIBK dari bahan baku utama Aceton adalah sebagai berikut:

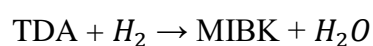
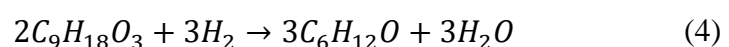
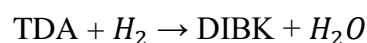
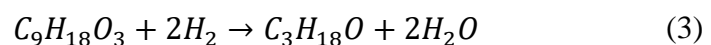
1) Kondensasi Aldol

Aceton bereaksi dengan dirinya sendiri melalui kondensasi aldol membentuk *Diaceton Alkohol* (DAA) dan kemudian DAA juga akan direaksikan dengan dirinya sendiri membentuk *Triaceton Dialkohol* (TDA):



2) Hidrogenasi dan Dehidrasi

TDA mengalami dehidrasi sekaligus hidrogenasi membentuk produk DIBK:



## **2. Penggunaan *Metil Isobutil Ketone* (MIBK) atau *Mesityl Oksida* (MO)**

### **Sebagai Reaktan**

Metode yang diungkapkan dalam jurnal paten US7767863B2 menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode lain dalam produksi MIBK dan DIBK. Salah satu keunggulan utamanya adalah dengan menyediakan proses daur ulang untuk katalis yang telah digunakan, yang melibatkan perlakuan dengan pelarut, seperti metanol atau etanol, untuk menghilangkan kotoran dan mengembalikan aktivitasnya (Sawrey, 2005).

Metode ini melibatkan reaksi antara acetone dan acetone dalam kehadiran katalis berbasis tembaga, yang didukung pada substrat dengan luas permukaan tinggi seperti silika atau alumina. Katalis diaktifkan dengan memanaskannya dalam atmosfer, seperti hidrogen atau metana, pada suhu sekitar 500°C selama 2-3 jam.

Reaksi dilakukan dalam reaktor tangki pengaduk pada suhu sekitar 150-200°C dan tekanan sekitar 10-15 bar. Reaktan acetone dan acetone dimasukkan ke dalam reaktor agar terjadi kondensasi dan membentuk DAA. Laju reaksi penting untuk dijaga agar tetap rendah supaya mencapai selektivitas tinggi dalam produksi DIBK.

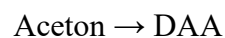
Katalis yang telah diaktifkan ditambahkan ke dalam reaktor, dan reaksi dibiarkan berlangsung selama sekitar 1-3 jam. Katalis dapat ditambahkan dalam berbagai bentuk, seperti serbuk, pelet, atau ekstrudat.

Setelah reaksi selesai, produk didinginkan, dan katalis dihilangkan dengan penyaringan. Larutan yang dihasilkan kemudian didestilasi untuk memisahkan produk MIBK dan DIBK. Destilasi harus dilakukan pada suhu rendah untuk meminimalkan pembentukan produk samping.

Mekanisme reaksi kimia pembuatan DIBK dari bahan baku utama Aceton adalah sebagai berikut:

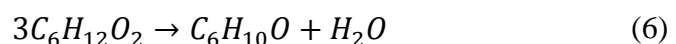
1) Kondensasi Aldol

Aceton bereaksi dengan dirinya sendiri melalui kondensasi aldol membentuk *Diaceton Alkohol* (DAA):



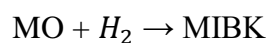
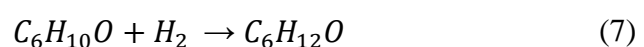
2) Dehidrasi

DAA mengalami dehidrasi membentuk senyawa *Mesityl Oksida* (MO):



3) Hidrogenasi

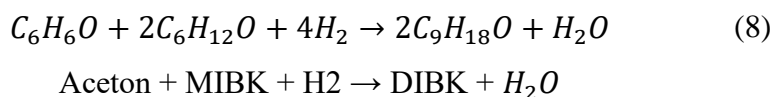
MO dihidrogenasi secara bertahap dikatalis oleh logam transisi dari katalis bifungsional membentuk *Metil Isobutil Ketone* (MIBK) dan DIBK:



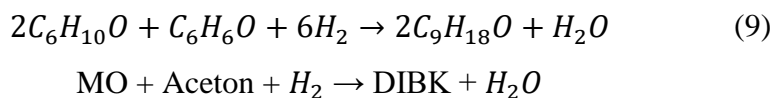


#### 4) Dehidrasi dan Hidrogenasi

Produk MIBK akan direaksikan kembali dengan aceton dan mengalami dehidrasi dan hidrogenasi membentuk produk DIBK:



Atau



Proses pembentukan produk DIBK merupakan proses kondensasi aldol, dimana proses tersebut menggunakan reaktan TDA atau MIBK dan MO. Perbedaan penggunaan reaktan ini akan mempengaruhi berbagai variable seperti jumlah proses, kondisi operasi dan konversi produk DIBK yang akan dihasilkan.

Perbandingan proses kondensasi aldol dengan reaktan TDA dan MIBK atau MO dapat dilihat pada Tabel 1.1.

*Tabel 1. 4. Perbandingan Proses Pembentukan Produk DIBK*

NO.	Parameter	Reaktan yang digunakan*	
		TDA	MIBK atau MO
1.	Proses	Kontinyu	Kontinyu
2.	Suhu reaksi (°C)	120	150-200
3.	Tekanan (bar)	10	10-15
4.	Fase reaksi	Cair-Gas	Cair-Gas
5.	Katalis	Pd/AMBERLYST-15	Pd/ZrPO
6.	Konversi Aceton	60%	60%
7.	Konversi Reaktan*	>85%	38%
8.	Jenis reaktor	Fixed bed reactor	Fixed bed reactor

Tabel 1. 5. Perbandingan Proses Pembentukan Produk DIBK (Lanjutan)

NO.	Parameter	Reaktan yang digunakan*	
		TDA	MIBK atau MO
9.	Produk samping	MIBK	MIBK, DAA, dan MO
10.	Waktu tinggal (jam)	4	1-3
11.	Bahan Pendukung	Hidrogen	Hidrogen
12.	Sumber	Rosso, 2010	Sawrey, 2005

Dari kedua proses pembentukan DIBK diatas, maka proses yang dipilih untuk pembuatan DIBK yaitu proses Kondensasi Aldol yang dikembangkan oleh *Rosso* dengan menggunakan reaktan TDA dan katalis *Palladium/AMBERLYST-15* dengan beberapa pertimbangan dibawah ini, antara lain:

1. Preparasi bahan baku lebih sedikit sehingga bisa menghemat biaya pengadaan energi dan menghemat waktu produksi.
2. Diperoleh konversi dan kemurnian produk yang lebih tinggi.
3. Produk samping yang dihasilkan dari reaksi pembentukan DIBK hanya berupa MIBK dalam jumlah yang lebih sedikit.
4. Proses ini tidak memiliki resiko yang tinggi karena dioperasikan dengan suhu dan tekanan yang relatif rendah.

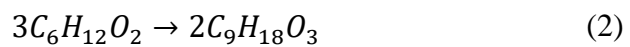
## 1. 4. Tinjauan Kinetika Dan Tinjauan Termodinamika

### 1.4.1. Tinjauan Kinetika

Tinjauan secara kinetika bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi kimia, seperti laju kinetika. Reaksi

kimia yang terjadi pada proses kondensasi aldol dengan adanya aseton yang menghasilkan seri menjadi TDA, dan proses hidrogenasi dengan TDA yang menghasilkan DIBK sebagai produk utama dan MIBK yang merupakan produk dari reaksi samping.

Reaksi yang terjadi pada reaktor 1 adalah sebagai berikut:



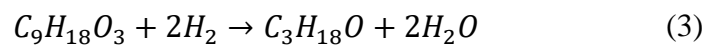
Persamaan kinetika untuk reaksi diatas:

$$(-r_A) = k_o \cdot \exp\left(\frac{-Ea}{R \cdot T}\right) \cdot \frac{F_{AO} \cdot (1-x)}{F_{TO}} \quad (10)$$

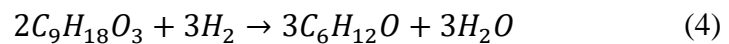
Didapatkan data kinetika menurut (Al-Rabiah et al., 2022) sebagai berikut:

Reaksi yang terjadi pada reaktor 2 adalah sebagai berikut:

a. Reaksi Utama (Pembentukan DIBK)



b. Reaksi Samping



Persamaan kinetika untuk reaksi diatas:

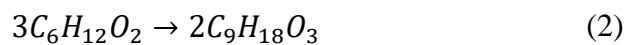
$$(-r_A) = k_o \cdot \exp\left(\frac{-Ea}{R \cdot T}\right) \cdot \frac{F_{AO} \cdot (1-x)}{F_{TO}} \quad (12)$$

### 1.4.2. Tinjauan Termodinamika

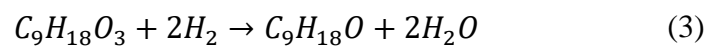
Pada tinjauan termodinamika ditujukan untuk mengetahui apakah reaksi yang berlangsung bersifat eksotermis atau endotermis serta mengetahui reaksi yang berlangsung spontan atau non-spontan. Untuk penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat diketahui dengan data entalpi pembentukan ( $\Delta H_f^0$ ) pada suhu 298 K.

Reaksi utama:

Reaktor 1:



Reaktor 2:



Harga ( $\Delta H_f^0$ ) masing-masing komponen pada suhu 298 K berdasarkan sumber referensi Sumber: (Yaws, 1999) ditunjukkan pada Tabel 1.8. berikut.

Tabel 1. 6. Harga  $\Delta H_f^0$  pada Masing-masing Komponen

No.	Komponen	$\Delta H_f^0$ (kJ/mol)
1.	Aseton ( $C_3H_6O$ )	-217,57
2.	Hidrogen ( $H_2$ )	0
3.	DIBK ( $C_9H_{18}O$ )	-357,6
4.	MIBK ( $C_6H_{12}O$ )	-288,49
5.	Air ( $H_2O$ )	-241,8
6.	DAA ( $C_6H_{12}O_2$ )	-545,8
7.	TDA ( $C_9H_{18}O_3$ )	-560,20

Setelah mengetahui nilai harga ( $\Delta H_f^0$ ) pada masing-masing komponen, kemudian menghitung nilai entalpi reaksi.

Reaktor 1:

$$\Delta H_R^0 = \Delta H_f^0 \text{Produk} - \Delta H_f^0 \text{Reaktan} \quad (14)$$

$$\Delta H_R^0 = [\Delta H_f^0(C_6H_{12}O_2)] - [\Delta H_f^0 2(C_3H_6O)]$$

$$\Delta H_R^0 = [\Delta H_f^0(-545,8)] - [\Delta H_f^0 2(-217,57)]$$

$$\Delta H_R^0 = -110,66 \text{ kJ/mol} = -110.660 \text{ J/mol}$$

Reaktor 2:

$$\Delta H_R^0 = \Delta H_f^0 \text{Produk} - \Delta H_f^0 \text{Reaktan} \quad (15)$$

$$\Delta H_R^0 = [\Delta H_f^0(C_9H_{18}O) + \Delta H_f^0 2(H_2O)] - [\Delta H_f^0(C_9H_{18}O_3) + \Delta H_f^0 2(H_2)]$$

$$\Delta H_R^0 = [\Delta H_f^0(-357,6) + \Delta H_f^0 2(-241,8)] - [\Delta H_f^0(-560,20) + \Delta H_f^0 2(0)]$$

$$\Delta H_R^0 = -281,00 \text{ kJ/mol} = -281.000 \text{ J/mol}$$

Setelah mengetahui nilai entalpi pembentukan, kemudian menghitung nilai gibbs pembentukan pada reaksi yang sama dengan suhu 298 K, berikut merupakan tabel harga energi gibbs pembentukan ( $\Delta G_f$ ) pada masing-masing komponen, di antaranya adalah sebagai berikut:

Tabel 1. 7. Harga  $\Delta G_f^0$  pada Masing-masing Komponen

No.	Komponen	$\Delta G_f^0$ (kJ/mol)
1.	Aseton ( $C_3H_6O$ )	-153,05
2.	Hidrogen ( $H_2$ )	0
3.	DIBK ( $C_9H_{18}O$ )	-113,00
4.	MIBK ( $C_6H_{12}O$ )	-135,36
5.	Air ( $H_2O$ )	-228,6
6.	DAA ( $C_6H_{12}O_2$ )	-371,00
7.	TDA ( $C_9H_{18}O_3$ )	-303,80

Reaktor 1:

$$\Delta G_R = \Delta G_f \text{Produk} - \Delta G_f \text{Reaktan} \quad (16)$$

$$\Delta G_R = [\Delta G_f(C_6H_{12}O_2)] - [\Delta G_f 2(C_3H_6O)]$$

$$\Delta G_R = [\Delta G_f(-371,00)] - [\Delta G_f 2(-153,05)]$$

$$\Delta G_R = -64,90 \text{ kJ/mol} = -64.900 \text{ J/mol}$$

Reaktor 2:

$$\Delta G_R = \Delta G_f \text{Produk} - \Delta G_f \text{Reaktan} \quad (17)$$

$$\Delta G_R = [\Delta G_f(C_9H_{18}O) + \Delta G_f 2(H_2O)] - [\Delta G_f(C_9H_{18}O_3) + \Delta G_f 2(H_2)]$$

$$\Delta G_R = [\Delta G_f(-113,00) + \Delta G_f 2(-228,6)] - [\Delta G_f(-303,8) + \Delta G_f 2(0)]$$

$$\Delta G_R = -266,40 \text{ kJ/mol} = -266.40 \text{ J/mol}$$

Reaksi dari proses pembuatan DIBK merupakan reaksi eksotermis dengan kesetimbangan reaksi mengarah ke kiri. Hal ini ditunjukkan dengan nilai entalpi pembentukan pada reaktor 1 sebesar  $(\Delta H_R^0) = -110,66 \text{ kJ/mol}$  dan pada reaktor 2 sebesar  $(\Delta H_R^0) = -281,0 \text{ kJ/mol}$  yang mana didapatkan hasil bernilai negatif yang artinya pada reaksi terdapat pelepasan kalor dari sistem ke lingkungan, sehingga kalor dari sistem akan berkurang.

Sedangkan pada nilai energi gibbs pembentukan yang didapatkan adalah pada reaktor 1 sebesar  $\Delta G_R = -64,90 \text{ kJ/mol}$  dan pada reaktor 2 sebesar  $\Delta G_R = -266,40 \text{ kJ/mol}$  di mana pada energi gibbs juga menghasilkan nilai negatif, sehingga reaksi ini termasuk reaksi spontan ( $\Delta G_R < 0$ ).

Persamaan sebelumnya dapat ditata ulang sehingga memfaktorkan K menjadi masing-masing tiga suku mewakili kontribusi dasar untuk nilainya. Berdasarkan persamaan konstanta kesetimbangan yang terdapat pada (Smith, et al., 2018), maka:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (18)$$

Faktor pertama  $K_0$  mewakili konstanta kesetimbangan pada suhu referensi  $T_0$ :

$$\ln K_0 = \left( \frac{-\Delta G^0}{R \cdot T} \right) \quad (19)$$

$$K_0 = \exp \left( \frac{-\Delta G^0}{R \cdot T} \right) \quad (20)$$

Reaktor 1:

$$K_0 = \exp \left( \frac{-(-64,90)}{8,314 \times 298} \right)$$

$$K_0 = 1,026541$$

Reaktor 2:

$$K_0 = \exp \left( \frac{-(-266,40)}{8,314 \times 298} \right)$$

$$K_0 = 1,113518$$

Faktor kedua  $K_1$  adalah pengali yang memperhitungkan pengaruh utama suhu, seperti bahwa produk  $K_0$  dan  $K_1$  adalah konstanta kesetimbangan pada suhu T ketika panas reaksi adalah diasumsikan tidak bergantung pada temperatur:

$$K_1 = \left( \frac{\Delta H^0}{R \cdot T_0} \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) \right) \quad (21)$$

Reaktor 1:

$$K_1 = \left( \frac{-110,66}{8,314 \times 298} \left( 1 - \frac{298}{418} \right) \right)$$

$$K_1 = 0,012822$$

Reaktor 2:

$$K_1 = \left( \frac{-281,00}{8,314 \times 298} \left( 1 - \frac{298}{418} \right) \right)$$

$$K_1 = 0,032560$$

Faktor ketiga  $K_2$  memperhitungkan pengaruh suhu yang jauh lebih kecil yang dihasilkan dari perubahan  $\Delta H^\circ$  dengan suhu. Pada suhu 418 K, besarnya konstanta kesetimbangan ( $K_2$ ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_2 = \exp \left( -\frac{1}{T} \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^0}{R} + \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_P^0}{R} \frac{dT}{T} \right) \quad (22)$$

$$K_2 = \exp \left\{ \begin{array}{l} \Delta A \left[ \ln \frac{T}{T_0} - \frac{T - T_0}{T} \right] + \frac{1}{2} \Delta B \frac{(T - T_0)^2}{T} \\ + \\ \frac{1}{6} \Delta C \frac{(T - T_0)^2 \times (T + 2T_0)}{T} + \frac{1}{2} \Delta D \frac{(T - T_0)^2}{T^2 - T_0^2} \end{array} \right\} \quad (23)$$

$$\text{Reaktor 1: } K_2 = 4,702 \times 10^{-06}$$

$$\text{Reaktor 2: } K_2 = 4,702 \times 10^{-06}$$

Dengan nilai-nilai tersebut, diperoleh data yang disajikan dalam Tabel 1.10 dan Tabel 1.11.



Tabel 1. 8. Hasil Perhitungan Konstanta Keseimbangan Panas Pada Reaktor 1

T/K	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K
298	1,026541	1	1	1,026541
418	1,026541	0,012822	4,702 x 10 <sup>-06</sup>	6,189 x 10 <sup>-08</sup>

Tabel 1. 9. Hasil Perhitungan Konstanta Keseimbangan Panas Pada Reaktor 2

T/K	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K
298	1,113518	1	1	1,113518
418	1,113518	0,032560	4,702 x 10 <sup>-06</sup>	1,705 x 10 <sup>-07</sup>

Reaksi dikatakan *reversibel* jika nilai K mendekati 1. Artinya kesetimbangan berada di dekat titik netral, sehingga sistem dapat bergeser ke kiri atau kanan tergantung kondisinya.

Reaksi dikatakan *irreversibel* jika nilai K sangat jauh dari 1, baik ke arah nilai K besar ( $\gg 1$ ) atau ke arah nilai K kecil ( $\ll 1$ ). Jika nilai K  $\gg 1$ , berarti kesetimbangan condong sepenuhnya ke sebelah produk. Jika nilai K  $\ll 1$ , berarti kesetimbangan condong sepenuhnya ke sebelah reaktan.

Berdasarkan perhitungan nilai konstanta kesetimbangan termodinamika, didapatkan hasil nilai kesetimbangan pada reaktor 1 sebesar  $6,189 \times 10^{-08}$  dan pada reaktor 2 sebesar  $1,705 \times 10^{-07}$ , sehingga dianggap bahwa reaksi pembentukan DIBK merupakan reaksi *irreversible* atau reaksi satu arah yang condong ke arah reaktan.

## BAB II

### PERANCANGAN PRODUK

#### 2.1. Spesifikasi Produk, Bahan Baku dan Bahan Pendukung

*Tabel 2. 1. Spesifikasi Produk, Bahan Baku, Dan Bahan Pendukung*

Keterangan	Produk	Bahan Baku	Bahan Pendukung
	<i>Diisobutyl Ketone (DIBK)</i>	Aceton	Hidrogen
Rumus Molekul	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	H <sub>2</sub>
Berat Molekul	142.24 g/mol	58.08 g/mol	2.02 g/mol
Wujud	Cair, Tidak Berwarna	Cair, Tidak Berwarna, Menyengat, Aromatik Lemah	Gas, Tidak Berwarna, Tidak Berbau
pH	-	5 - 6 pada 395 g/l pada 20 °C	-
Titik Didih	329°F / 165°C	133°F / 56°C pada 1.013 hPa	423.04°F (-252.8°C)
Titik Beku	-45,98 °C pada kira-kira 101,3 kPa	-137°F / -94°C	434.56°F (- 259.2°C)
Titik Nyala	120 °F / 49 °C	-1.4°F / -17°C	< -150°C
Tekanan Uap	2.3 hPa (68°F / 20°C)	245 hPa (68°F / 20°C)	-

Tabel 2. 2. Spesifikasi Produk, Bahan Baku, Dan Bahan Pendukung (Lanjutan)

Keterangan	Produk	Bahan Baku	Bahan Pendukung
	<i>Diisobutyl Ketone (DIBK)</i>	Aceton	Hidrogen
Densitas	0.808 g/mL (77°F / 25°C)	0.791 g/mL (68°F / 20°C)	0.009 g/mL pada 0 °C
Kelarutan Dalam Air	0.43 g/l pada 25 °C - larut sebagian	Larut, Dalam Semua Perbandingan	0.00196 g/L pada 0°C
Viskositas	0,869 mPa,s pada 25 °C	-	-
Kemurnian	99%	99.5%	99.99%
<i>Hazard</i>	H226 Cairan dan uap mudah menyala. H335 Dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan.	H225 Cairan dan uap amat mudah menyala. H319 Menyebabkan iritasi mata yang serius. H336 Dapat menyebabkan mengantuk dan pusing.	H220 Gas sangat mudah menyala. H280 Berisi gas di bawah tekanan; dapat meledak jika dipanaskan.

Tabel 2. 3. Spesifikasi Produk, Bahan Baku, Dan Bahan Pendukung (Lanjutan)

Keterangan	Produk	Bahan Baku	Bahan Pendukung
	<i>Diisobutyl Ketone (DIBK)</i>	Aceton	Hidrogen
Pertolongan Pertama	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jika terhirup: Setelah hirup udara segar.</li> <li>• Jika kontak: Tanggalkan segera semua pakaian yang terkontaminasi. Bilaslah kulit dengan air/ pancuran air.</li> <li>• Jika kontak: Bilaslah dengan air yang banyak. Lepaskan lensa kontak.</li> <li>• Jika tertelan: Segera beri korban minum air putih (dua gelas paling banyak). Periksakan ke dokter.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jika terhirup: Setelah hirup udara segar.</li> <li>• Jika kontak dengan: Tanggalkan segera semua pakaian yang terkontaminasi. Bilaslah kulit dengan air/ pancuran air.</li> <li>• Jika kontak dengan mata: Bilaslah dengan air yang banyak. Hubungi dokter mata. Lepaskan lensa kontak.</li> <li>• Jika tertelan: Segera beri korban minum air putih (dua gelas paling banyak). Periksakan ke dokter.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jika terhirup: Segera hirup udara segar.</li> <li>• Jika kontak dengan kulit: Tanggalkan segera semua pakaian yang terkontaminasi. Bilaslah kulit dengan air.</li> <li>• Jika kontak dengan mata: Bilaslah dengan air yang banyak. Lepaskan lensa kontak.</li> <li>• Jika tertelan: Beri air minum kepada korban (paling banyak dua gelas). Konsultasi kepada dokter jika merasa tidak sehat.</li> </ul>
Sumber	(Sigma-Aldrich, 2023)	(Sigma-Aldrich, 2023)	(PT. Sindopex Perotama, 2023)

Tabel 2. 4. Spesifikasi Pd/Amberlyst-15

Sifat Bahan	Palladium/Amberlyst-15
Rumus Molekul	Pd/C <sub>18</sub> H <sub>18</sub> O <sub>3</sub> S
Berat Molekul	420.819 g/mol
Wujud	Butiran, Berwarna Kuning
Tekanan Uap	23 hPa at 20°C
Diameter	0,0073 m
Density	1,200 g/mL
Porositas	0,51 mL/g

(Sigma-Aldrich, 2023)

## 2.2. Pengendalian Kualitas

Kualitas selalu menjadi bagian yang esensial dari hampir semua produk dan layanan. Namun, kesadaran kita akan pentingnya kualitas dan pengenalan metode formal untuk pengendalian dan perbaikan kualitas telah menjadi perkembangan evolusioner. Pengendalian dan perbaikan kualitas melibatkan serangkaian aktivitas yang digunakan untuk memastikan bahwa produk dan layanan memenuhi persyaratan dan ditingkatkan secara berkelanjutan (Montgomery, 2010).

Pengendalian Kualitas adalah proses monitoring dan pengukuran kualitas bahan baku, proses produksi dan produk agar kualitas yang dihasilkan sesuai dengan standar yang ditetapkan. Proses ini dilakukan untuk mengendalikan variasi yang tidak diinginkan dan memastikan bahwa suatu produk memenuhi spesifikasi kualitas yang diharapkan konsumen.

Secara umum, terdapat beberapa langkah utama dalam melakukan pengendalian kualitas, yaitu:

- 1) Menetapkan standar kualitas yang harus dicapai dalam bentuk spesifikasi bahan baku dan produk. Spesifikasi dapat mencakup ukuran, bentuk, warna, dan karakteristik lainnya.
- 2) Melakukan pengukuran dan pengamatan terhadap bahan baku dan produk selama proses produksi untuk memastikan bahwa standar kualitas terpenuhi. Pengukuran dapat dilakukan secara acak maupun berkala.
- 3) Merekam hasil pengukuran ke dalam *diagram control* untuk memantau apakah proses berjalan sesuai prosedur atau tidak. Jika tidak berjalan sesuai prosedur, perlu dilakukan investigasi untuk menemukan dan mengatasi penyebab masalah.
- 4) Mengambil tindakan perbaikan jika hasil pengukuran menemukan ketidaksesuaian antara kualitas aktual dengan standar yang ditetapkan demi tercapainya kualitas yang konsisten.
- 5) Melaporkan hasil pengukuran pengendalian kualitas secara berkala untuk memantau kinerja proses secara terus menerus guna menjamin kelancaran produksi.

### **2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku**

Pengendalian kualitas untuk bahan baku penting dilakukan agar proses produksi dan kualitas produk akhir dapat terkontrol dengan baik. Bahan baku yang digunakan harus sesuai dengan spesifikasi yang

ditetapkan sehingga dapat menghasilkan produk yang sesuai standar. Untuk itu perlu dilakukan pengawasan berkala terhadap kualitas bahan baku yang masuk, baik ukuran, warna, tekstur, kadar zat kimia, dan atribut penting lainnya.

Pengawasan dapat dilakukan secara sampling dengan mengambil sampel bahan baku untuk diuji di laboratorium. Hasil uji akan menunjukkan apakah bahan baku tersebut memenuhi spesifikasi atau tidak. Jika tidak sesuai, bahan baku harus ditolak untuk mencegah terjadinya cacat pada produk. Dengan melakukan pengendalian kualitas pada bahan baku secara teratur dan menyeluruh, kualitas bahan baku dapat terjamin sehingga produksi dapat berjalan lancar dan menghasilkan produk yang sesuai standar kualitas.

### **2.3.2. Pengendalian Kualitas Proses**

Di pabrik-pabrik industri, sejumlah besar variabel proses harus dipertahankan dalam batas yang ditentukan agar pabrik dapat beroperasi dengan baik. Keluar dari batas variabel kunci dapat memiliki konsekuensi yang signifikan bagi keselamatan pabrik, lingkungan, kualitas produk, dan profitabilitas pabrik.

Pengendalian kualitas proses sangat penting dalam industri kimia dan proses produksi. Hal ini dilakukan untuk meyakinkan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi standar kualitas dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pengendalian kualitas proses bertujuan untuk memastikan

bahwa proses produksi berjalan sesuai dengan desain dan spesifikasi semula. Parameter seperti suhu, tekanan, laju aliran, waktu, konsentrasi, dan lainnya perlu dimonitor dan dikendalikan agar sesuai dengan batasan operasi optimal. Ini digunakan untuk mencapai tingkat konsistensi dan mutu produk yang diinginkan.

Pengukuran dan pengawasan dilakukan pada titik-titik kritis di dalam proses agar proses berjalan sesuai harapan dan dapat dikoreksi bila terjadi penyimpangan. Data hasil pengukuran digunakan untuk menganalisis kinerja mesin atau lini produksi serta mendeteksi dini bila terjadi masalah.

### **2.3.3. Pengendalian Kualitas Produk**

Produk akhir yang dihasilkan perlu diuji secara berkala untuk memeriksa apakah memenuhi spesifikasi kualitas yang telah ditentukan seperti ukuran, warna, bau, kemurnian dan lain-lain. Jika hasil uji tidak sesuai standar, perlu dicari penyebabnya apakah karena proses produksi atau ada masalah lain.

Melakukan pengawasan kualitas selama proses produksi untuk memastikan proses berjalan sesuai desain dan dapat menghasilkan produk yang konsisten. Selain itu, diperlukan pula pengawasan terhadap karakteristik produk selama masa simpan, apakah masih stabil atau terjadi perubahan sifat sehingga tidak layak digunakan. Jika terjadi penyimpangan perlu adanya tindakan perbaikan. Mencatat dan melacak



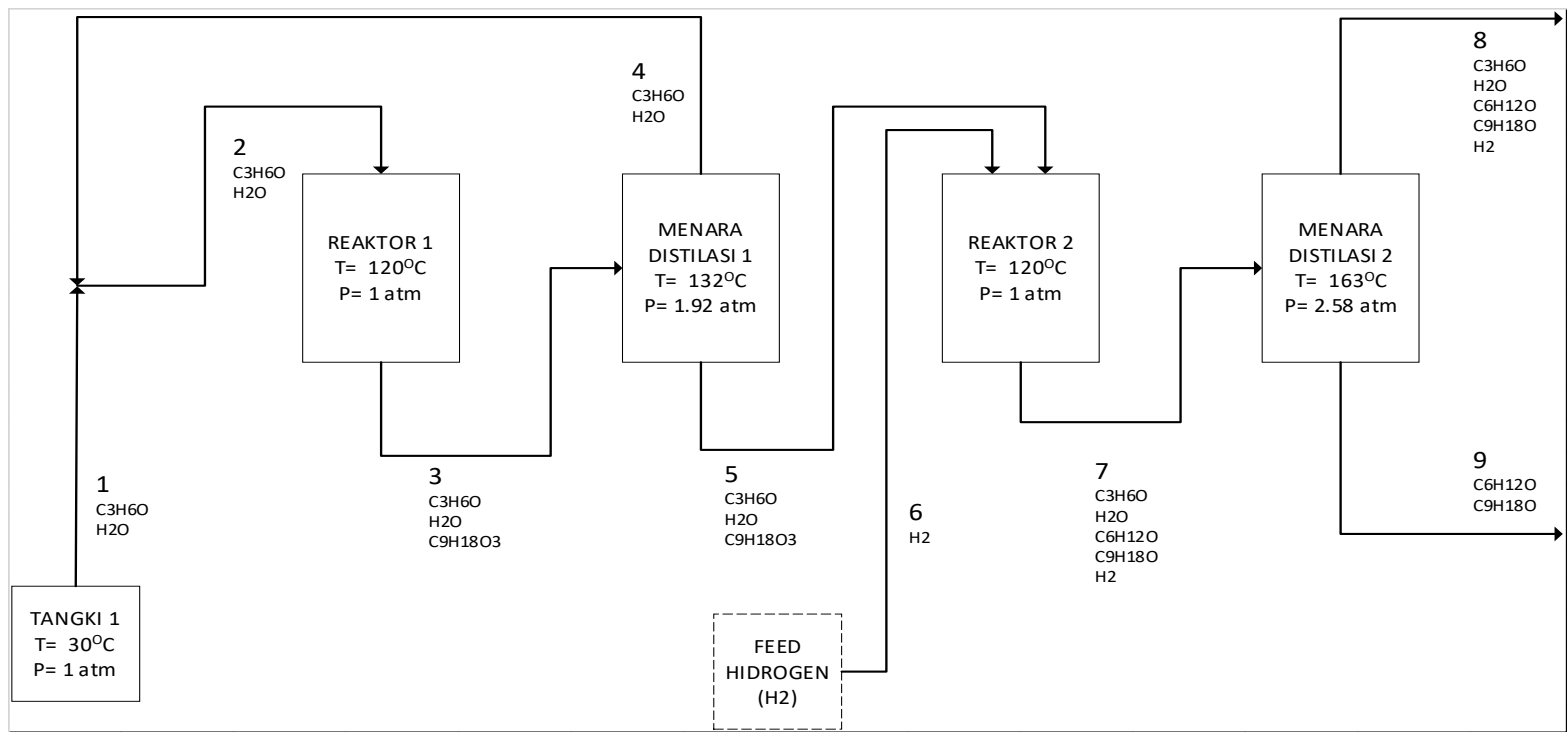
sejarah kualitas setiap batch produksi untuk mengetahui fluktuasi kualitas dan penyebabnya. Hal ini berguna untuk meningkatkan proses ke depannya.

# BAB III

## PERANCANGAN PROSES

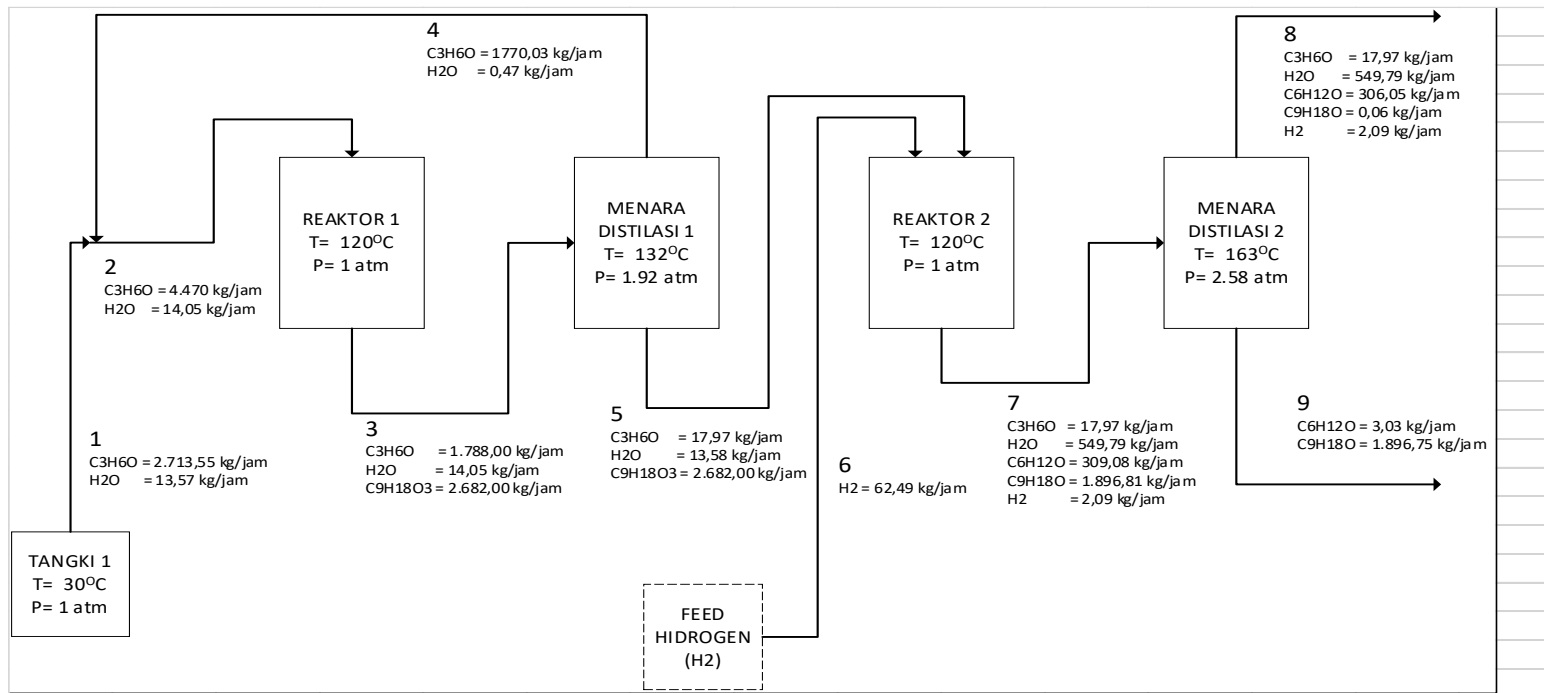
### 3.1. Diagram Alir Proses dan Material

#### 3.1.1. Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3. 1. Diagram Alir Kualitatif

### 3.1.2. Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3. 2. Diagram Alir Kuantitatif

## 3.2. Uraian Proses

### 3.2.1. Persiapan Bahan Baku

*Fresh feed* aceton dari tangki penyimpanan (T-01) dikirim ke pompa (P-01) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm dengan waktu tinggal satu jam. Aceton daur ulang dicampur dalam kondisi yang sama. Aliran campuran dipanaskan menjadi 120°C dengan Vaporizer (V-01) sebelum memasuki reaktor (R-01).

### 3.2.2. Kondensasi Aldol

Pada tahap ini, aceton umpan dari Vaporizer (V-01) masuk ke reaktor (R-01) pada 120°C dan tekanan 1 atm selama empat jam. Reaksi isothermal terjadi dalam fase cair dalam *Fixed Bed Multitube Reactor* (R-01) pada 120°C dan 1 atm. Proses konversi aceton menjadi *diaceton alkohol* (DAA) adalah 66%, dan proses konversi DAA menjadi *triaceton dialkohol* (TDA) adalah 100%. TDA yang dihasilkan dari Reaktor (R-01) dialirkan ke Heat Exchanger (HE-01) untuk mendinginkan bahan sampai suhunya mencapai 68°C. Kemudian masuk ke Menara Distilasi (MD-01) untuk memisahkan aceton yang tidak bereaksi dari produk distilat dan masuk sebagai arus recycle. Produk bawah kemudian dialirkan ke Reaktor (R-02). Sebelum dicampur dengan *fresh feed* aceton, hampir 99% dari aceton yang tidak bereaksi dikumpulkan dalam aliran recycle. Untuk menjaga campuran azeotropik di bawah titik azeotropi, sekitar 0,04 dari air yang masuk ke kolom dikembalikan ke aliran atas oleh sistem aceton/air. Aliran terlebih

dahulu masuk kondensor (CD-01) sebelum bergabung dengan aliran *fresh feed*.

### 3.2.3. Reaksi Hidrogenasi

Aliran bawah Menara Distilasi (MD-01) didinginkan menjadi 120°C oleh Heat Exchanger (HE-03) sebelum memasuki Reaktor (R-02). Selain itu, bahan baku pendukung, hidrogen, ditambahkan ke dalam reaktor (R-02). Sesuai dengan rekomendasi, umpan hidrogen dijaga pada perbandingan 2:1 antara mol hidrogen-TDA. Reaksi ini berlangsung secara isothermal dalam fase cair-gas pada 120°C dan 1 atm selama 4 jam dalam *Fixed Bed Multitube Reactor* (R-02). Pada saat reaksi berakhir, konversi TDA mencapai 100% dan selektivitas DIBK adalah 40,6%. Produk lain, seperti *metil isobutyl ketone* (MIBK) juga ikut terproduksi.

### 3.2.4. Pemurnian Produk

Aliran keluar dari reaktor (R-02) memasuki Menara Distilasi (MD-02), di mana aliran didinginkan menjadi 112°C oleh Heat Exchanger (HE-04). Komponen berat DIBK dengan kemurnian 99,83% kemudian keluar dari aliran melalui Heat Exchanger (HE-05) sebelum masuk ke tangki produk DIBK (T-02). MIBK akan keluar sebesar 99% alirannya yang masuk, sedangkan aceton, hidrogen, dan sisa air akan keluar melalui aliran atas 100% aliran yang masuk. Setelah didinginkan oleh kondensor (CD-02), aliran hasil atas ini masuk ke tangki produk samping MIBK (T-03).

### 3.3. Spesifikasi Alat

#### 3.3.1. Tangki

Tabel 3. 1. Spesifikasi Tangki Bahan Baku dan Produk

Spesifikasi	T-01	T-02	T-03
<b>Fungsi</b>	Menyimpan bahan baku Aceton ( $C_3H_6O$ )	Menyimpan produk DIBK ( $C_9H_{18}O$ )	Menyimpan produk MIBK ( $C_6H_{12}O$ )
<b>Tipe</b>	Tangki silinder vertikal dengan dasar <i>flat bottom</i> dan atap <i>Flanged &amp; Dished Heads (Torispherical)</i>	Tangki silinder vertikal dengan dasar <i>flat bottom</i> dan atap <i>Conical Dishead</i>	Tangki silinder vertikal dengan dasar <i>flat bottom</i> dan atap <i>Conical Dishead</i>
<b>Bahan</b>	<i>Stainless Steel SA-167 Grade 8 Type 309</i>	<i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>	<i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
<b>Penyimpanan</b>	60 hari	15 hari	15 hari
<b>Jumlah</b>	1 unit	1 unit	1 unit
<b>Suhu (°C)</b>	30	30	30
<b>Tekanan(atm)</b>	1	1	1
<b>Diameter (m)</b>	27,43	15,24	10,67
<b>Tinggi (m)</b>	10,973	5,486	5,486
<b>Tebal Shell (in)</b>	0,375	0,1875	0,1875
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	7855,418	1223,397	599,434
<b>Jumlah Course</b>	6	3	3
<b>Tinggi Head (m)</b>	13,379	6,891	4,845
<b>Tebal Head (in)</b>	1,250	2,8	2,0
<b>Harga (\$)</b>	\$282.913,50	\$253.913,20	\$159.309,31

### 3.3.2. Reaktor

Tabel 3. 2. Spesifikasi Reaktor

Spesifikasi	R-01	R-02
<b>Fungsi</b>	Mereaksikan bahan baku Aceton menjadi TDA untuk pembentukan Produk DIBK	Mereaksikan TDA menjadi produk DIBK serta terjadinya reaksi samping membentuk MIBK
<b>Tipe</b>	Fixed Bed Multiube	Fixed Bed Multitube
<b>Bahan</b>	<i>Stainlees Steel Tipe 304</i>	<i>Stainlees Steel Tipe 304</i>
<b>Kondisi Proses</b>	Isothermal dan Adiabatis	Isothermal dan Adiabatis
<b>Suhu (°C)</b>	120	120
<b>Tekanan (atm)</b>	1	1
<b>Shell:</b>		
<b>Diameter (m)</b>	73,28	58,45
<b>Tinggi (m)</b>	10,60	22,2
<b>Tebal (in)</b>	2	2
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	44704,288	59554,476
<b>Head:</b>		
<b>Jenis</b>	Torispherical head	Torispherical head
<b>Diameter (m)</b>	2,4384	2,4384
<b>Tinggi (m)</b>	0,9906	0,9906
<b>Tebal (in)</b>	1	1
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	19,283	9,788
<b>Jenis Katalis</b>	Pd/Amberlyst 15	Pd/Amberlyst 15
<b>Bentuk Katalis</b>	Granule	Granule
<b>Berat Total Katalis (ton)</b>	15,138	20,175
<b>Harga Alat (\$)</b>	\$106.728,90	\$80.816,30

### 3.3.3. Vaporizer

Tabel 3. 3. Spesifikasi Vaporizer

Spesifikasi	V-01
Fungsi	Memanaskan dan mengubah fase Aseton dari cair menjadi gas
Tipe	<i>Shell And Tube Heat Exchanger</i>
Bahan	<i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
<b>Shell</b>	
Aliran Fluida	Cold Fluid
ID (in)	6,625
Buffle Spacing (in)	5
Passes	1
$\Delta P_s$ (psi)	0,000016993
<b>Tube</b>	
Aliran Fluida	Hot Fluid
Nt	158
L (in)	192
OD (in)	4,5
ID (in)	4,026
BWG	13
Passes	4
Uc	32,13
Ud	10,00
Rd calculated	0,3162
Rd required	0,0020
$\Delta P_t$ (psi)	0,00001423
Harga (\$)	\$8,300.00



### 3.3.4. Menara Distilasi

Tabel 3. 4. Spesifikasi Menara Distilasi

Spesifikasi	MD-01	MD-02
<b>Fungsi</b>	Untuk memisahkan sisa Aceton yang tidak bereaksi	Untuk memisahkan sisa Aceton dan produk samping agar dan produk utama memiliki kemurnian yang tinggi
<b>Tipe</b>	Sieve tray	Sieve tray
<b>Bahan</b>	<i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>	<i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
<b>Suhu (°C)</b>	132,0722	162,8049
<b>Tekanan (atm)</b>	1,92	2,58
<b>Diameter (m)</b>	1,3716	1,2192
<b>Tinggi (m)</b>	9,750	12,676
<b>Jumlah Stage</b>	23	33
<b>Tebal Shell (in)</b>	0,25	0,25
<b>Tray Spacing (m)</b>	0,3	0,3
<b>Hole Diameter (mm)</b>	5	5
<b>Jumlah Hole</b>	4666	3687
<b>Weir Height (mm)</b>	50	50
<b>Column Diameter (m)</b>	1,3716	1,2192
<b>Weir Length (m)</b>	0,77	0,77
<b>Downcomer Area (m<sup>2</sup>)</b>	0,2807	0,2218
<b>Active Area (m<sup>2</sup>)</b>	0,9161	0,7238
<b>Harga (\$)</b>	\$49.300,00	\$49.800,00

### 3.3.5. Heat Exchanger

Tabel 3. 5. Spesifikasi Heat Exchanger (HE-01 – HE-02)

Spesifikasi	HE-01	HE-02
<b>Fungsi</b>	Mengubah suhu produk R-01 menjadi lebih rendah saat masuk MD-01	Memanaskan H2 menuju R-02
<b>Tipe</b>	Double Pipe	Double Pipe
<b>Bahan</b>	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>
<b>Inner Pipe</b>		
<b>Aliran Fluid</b>	Hot fluid	Cold Fluid
<b>NPS (in)</b>	1,25	1,25
<b>Flow Area (in<sup>2</sup>)</b>	1,19	1,19
<b>Pressure Drop (psi)</b>	123,94	0,58
<b>Annulus Pipe</b>		
<b>Aliran Fluida</b>	Cold Fluid	Hot fluid
<b>NPS (in)</b>	1,25	1,25
<b>Flow Area (in<sup>2</sup>)</b>	1,5	1,5
<b>Pressure Drop (psi)</b>	0,0000307	0,0000003
<b>Jumlah Hairpin</b>	1	1
<b>Harga (\$)</b>	\$10.100,00	\$11.600,00

Tabel 3. 6. Spesifikasi Heat Exchanger (HE-03 - HE-05)

<b>Spesifikasi</b>	<b>HE-03</b>	<b>HE-04</b>	<b>HE-05</b>
<b>Fungsi</b>	Menurunkan suhu larutan dari MD-01 menuju R-02	Mengubah suhu produk R-02 menjadi lebih rendah saat masuk MD-02	Mengubah suhu produk MD-02 menjadi lebih rendah saat masuk tangki produk (T-03)
<b>Tipe</b>	Double Pipe	Double Pipe	Double Pipe
<b>Bahan</b>	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>
<b>Inner Pipe</b>			
<b>Aliran Fluid</b>	Hot fluid	Hot fluid	Hot fluid
<b>NPS (in)</b>	1,25	1,25	1,25
<b>Flow Area (in<sup>2</sup>)</b>	1,19	1,19	1,19
<b>Pressure Drop (psi)</b>	190,63	25,56	13,95
<b>Annulus Pipe</b>			
<b>Aliran Fluida</b>	Cold Fluid	Cold Fluid	Cold Fluid
<b>NPS (in)</b>	1,25	1,25	1,25
<b>Flow Area (in<sup>2</sup>)</b>	1,5	1,5	1,5
<b>Pressure Drop (psi)</b>	0,0000382	0,0000091	0,0000032
<b>Jumlah Hairpin</b>	1	2	1
<b>Harga (\$)</b>	\$10.100,00	\$10.100,00	\$10.100,00

### 3.3.6. Kondensor

Tabel 3. 7. Spesifikasi Kondensor

Spesifikasi	CD-01	CD-02
<b>Fungsi</b>	Menurunkan suhu keluaran atas Menara Distilasi (MD-01) dari 74,5°C ke 30°C	Menurunkan suhu keluaran atas Menara Distilasi (MD-02) dari 120,5 °C ke 30°C
<b>Tipe</b>	<i>Shell And Tube</i>	<i>Shell And Tube</i>
<b>Bahan</b>	<i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>	<i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
<b>Shell</b>		
<b>Aliran Fluida</b>	Hot Fluid	Hot Fluid
<b>ID (in)</b>	70	70
<b>Baffle Spacing (in)</b>	5	5
<b>Passes</b>	1	1
<b>ΔPs (psi)</b>	0,00451	0,00016
<b>Tube</b>		
<b>Aliran Fluida</b>	Cold Fluid	Cold Fluid
<b>Nt</b>	158	158
<b>L (in)</b>	192	192
<b>OD (in)</b>	1	1
<b>ID (in)</b>	0,87	0,87
<b>BWG</b>	13	13
<b>Passes</b>	4	4
<b>ΔP<sub>T</sub> (psi)</b>	0,00109	0,00055
<b>U<sub>c</sub></b>	64,03	64,03
<b>U<sub>d</sub></b>	10,00	10,00
<b>R<sub>d</sub> calculated</b>	0,1156	0,1156
<b>R<sub>d</sub> required</b>	0,0020	0,0020
<b>ΔP<sub>t</sub> (psi)</b>	0,00000763	0,00000121
<b>Harga (\$)</b>	\$8.300,00	\$8.300,00

### 3.3.7. Pompa

Tabel 3. 8. Spesifikasi Pompa (P-01 - P-04)

<b>Spesifikasi</b>	<b>P-01</b>	<b>P-02</b>	<b>P-03</b>	<b>P-04</b>
<b>Fungsi</b>	Mengalirkan bahan baku Aceton menuju Tangki Penyimpanan 1 (T-01)	Mengalirkan bahan baku Aceton dari Tangki (T-01)	Mengalirkan bahan baku Hidrogen menuju Reaktor (R-02)	Mengalirkan bahan baku Aceton (+Aceton Recyle)
<b>Tipe</b>	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump
<b>Bahan</b>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>
<b>Kapasitas (gpm)</b>	18,3087	18,3087	10,5810	35,7259
<b>Sch Number</b>	40	40	40	40
<b>IPS (in)</b>	1,5	1,5	1	2
<b>OD (in)</b>	1,9	1,9	1,32	2,38
<b>ID (in)</b>	1,61	1,61	1,049	2,067
<b>Jenis Impeler</b>	Radial Flow	Mixed Flow	Radial Flow	Radial Flow
<b>Friction Head (ft)</b>	18,7169	8,9152	25,8983	9,9935
<b>Efisiensi Motor (%)</b>	80	80	80	80
<b>Daya Pompa (Hp)</b>	1	1	1	1
<b>Kecepatan Spesifik (rpm)</b>	305	1024	330	899
<b>Harga (\$)</b>	\$7.000,00	\$7.000,00	\$7.000,00	\$7.000,00

Tabel 3. 9. Spesifikasi Pompa (P-05 - P-07)

<b>Spesifikasi</b>	<b>P-05</b>	<b>P-06</b>	<b>P-07</b>
<b>Fungsi</b>	Mengalirkan hasil reaksi dari Reaktor (R-01) menuju Menara Distilasi (MD-01)	Mengalirkan hasil atas dari Menara Distilasi (MD-01)	Mengalirkan hasil bawah Menara Distilasi (MD-01) menuju Reaktor (R-02)
<b>Tipe</b>	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump
<b>Bahan</b>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>
<b>Kapasitas (gpm)</b>	30,6110	12,0237	18,8659
<b>Sch Number</b>	40	40	40
<b>IPS (in)</b>	2	1,5	1,5
<b>OD (in)</b>	2,38	1,9	1,9
<b>ID (in)</b>	2,067	1,61	1,61
<b>Jenis Impeler</b>	Radial Flow	Mixed Flow	Radial Flow
<b>Friction Head (ft)</b>	8,3377	4,4918	15,6900
<b>Efisiensi Motor (%)</b>	80	80	80
<b>Daya Pompa (Hp)</b>	1	1	1
<b>Kecepatan Spesifik (rpm)</b>	836	1112	547
<b>Harga (\$)</b>	\$7.000,00	\$7.000,00	\$7.000,00

Tabel 3. 10. Spesifikasi Pompa (P-08 - P-10)

<b>Spesifikasi</b>	<b>P-08</b>	<b>P-09</b>	<b>P-10</b>
<b>Fungsi</b>	Mengalirkan hasil reaksi dari Reaktor (R-02) menuju Menara Distilasi (MD-02)	Mengalirkan hasil Atas Menara Distilasi (MD-02) menuju Tangki (T-03)	Mengalirkan hasil bawah Menara Distilasi (MD-02) menuju Tangki (T-02)
<b>Tipe</b>	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump	Centrifugal Pump
<b>Bahan</b>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>
<b>Kapasitas (gpm)</b>	18,1772	5,3715	12,8527
<b>Sch Number</b>	40	40	40
<b>IPS (in)</b>	1,5	1	1
<b>OD (in)</b>	1,9	1,32	1,32
<b>ID (in)</b>	1,61	1,049	1,049
<b>Jenis Impeler</b>	Radial Flow	Radial Flow	Radial Flow
<b>Friction Head (ft)</b>	17,3931	11,4198	79,7740
<b>Efisiensi Motor (%)</b>	80	80	80
<b>Daya Pompa (Hp)</b>	1	1	1
<b>Kecepatan Spesifik (rpm)</b>	405	179	166
<b>Harga (\$)</b>	\$7.000,00	\$7.000,00	\$7.000,00

### 3.4. Neraca Massa

#### 3.4.1. Neraca Massa Total

Tabel 3. 11. Neraca Massa Total Sistem

Komponen	Input		Output	
	Arus 1	Arus 6	Arus 8	Arus 9
Aseton	2.713,55		17,97	
Hidrogen		62,49	2,09	
DIBK			0,06	1.896,75
MIBK			306,05	3,03
Air			549,79	
DAA				
TDA				
<b>Jumlah</b>	2.713,55	62,49	875,96	1.899,78
	<b>2.776,04</b>		<b>2.775,74</b>	
	<b>Hilang dari proses</b>		<b>0,30</b>	<b>kg/jam</b>

#### 3.4.2. Neraca Massa Reaktor (R-01)

Tabel 3. 12. Neraca Massa Reaktor (R-01)

Komponen	Input	Output
	Arus 2	Arus 3
Aseton	4.470,00	1.788,00
Hidrogen		
DIBK		
MIBK		
Air	14,05	14,05
DAA		
TDA		2.682,00
<b>Jumlah</b>	<b>4.484,05</b>	<b>4.484,05</b>



### 3.4.3. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3. 13. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-01)

Komponen	Input	Output	
	Arus 3	Arus 4	Arus 5
Aseton	1.788,00	1.770,03	17,97
Hidrogen			
DIBK			
MIBK			
Air	14,05	0,47	13,58
DAA			
TDA	2.682,00		2.682,00
<b>Jumlah</b>	<b>4.484,05</b>	1.770,50	2.713,55
		<b>4.484,05</b>	

### 3.4.4. Neraca Massa Reaktor (R-02)

Tabel 3. 14. Neraca Massa Reaktor (R-02)

Komponen	Input		Output
	Arus 5	Arus 6	Arus 7
Aseton	17,97		17,97
Hidrogen		62,49	2,09
DIBK			1.896,81
MIBK			309,08
Air	13,58		549,79
DAA			
TDA	2.682,00		
<b>Jumlah</b>	2.713,55	62,49	<b>2.775,74</b>
	<b>2.776,04</b>		

**Hilang Dari Reaksi                      0,30    kg/jam**

### 3.4.5. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-02)

Tabel 3. 15. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-02)

Komponen	Input	Output	
	Arus 7	Arus 8	Arus 9
Aseton	17,97	17,97	
Hidrogen	2,09	2,09	
DIBK	1.896,81	0,06	1.896,75
MIBK	309,08	306,05	3,03
Air	549,79	549,79	
DAA			
TDA			
<b>Jumlah</b>	<b>2.775,74</b>	875,96	1.899,78
		<b>2.775,74</b>	

### 3.5. Neraca Panas

#### 3.5.1. Neraca Panas Reaktor (R-01)

Tabel 3. 16. Neraca Panas Reaktor (R-01)

Input	kkal/jam	Output	kkal/jam
$\Delta H$	145.182,71	$\Delta H$	171.537,10
$\Delta H_R$	2.174,15	QPendinginan	(24.180,25)
<b>Jumlah</b>	<b>147.356,85</b>	<b>Jumlah</b>	<b>147.356,85</b>

#### 3.5.2. Neraca Panas Reaktor (R-02)

Tabel 3. 17. Neraca Panas Reaktor (R-02)

Input	kkal/jam	Output	kkal/jam
$\Delta H$	134.500,79	$\Delta H$	109.758,85
$\Delta H_R$	1.297,53	Qpendinginan	26.039,47
<b>Jumlah</b>	<b>135.798,32</b>	<b>Jumlah</b>	<b>135.798,32</b>

### 3.5.3. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3. 18. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)

<b>Komponen</b>	<b>Masuk (kkal/jam)</b>	<b>Keluar (kkal/jam)</b>
Enthalpi Umpan	702.010,82	0
Enthalpi Keluar	0	2.414.137,32
Beban Panas (Qc)	0	65.144,34
Beban Panas (Qr)	1.777.270,84	0
<b>Jumlah</b>	<b>2.479.281,66</b>	<b>2.479.281,66</b>

### 3.5.4. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-02)

Tabel 3. 19. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-02)

<b>Komponen</b>	<b>Masuk (kkal/jam)</b>	<b>Keluar (kkal/jam)</b>
Enthalpi Umpan	690.974,96	0
Enthalpi Keluar	0	4.323.894,36
Beban Panas (Qc)	0	313.471,54
Beban Panas (Qr)	3.946.390,94	0
<b>Jumlah</b>	<b>4.637.365,90</b>	<b>4.637.365,90</b>

### 3.5.5. Neraca Panas Vaporizer (V-01)

Tabel 3. 20. Neraca Panas Vaporizer (V-01)

<b>Input</b>	<b>kkal/jam</b>	<b>Output</b>	<b>kkal/jam</b>
Panas Masuk	6.995,20	Panas Keluar	824.560,14
Panas Steam	817.564,95		
<b>Total</b>	<b>824.560,14</b>	<b>Total</b>	<b>824.560,14</b>

### 3.5.6. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-01)

Tabel 3. 21. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-01)

<b>Komponen</b>	<b>Masuk kkal/jam</b>	<b>Keluar kkal/jam</b>
Q feed	171.537,0996	60.552,6791
Q pendingin		110.984,4205
<b>Total</b>	<b>171.537,0996</b>	<b>171.537,0996</b>

### 3.5.7. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-02)

Tabel 3. 22. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-02)

<b>Komponen</b>	<b>Masuk (kkal/jam)</b>	<b>Keluar (kkal/jam)</b>
Q feed	1.058,5858	7.427,0643
Q steam	7.586,6829	1.218,2044
<b>Total</b>	<b>8.645,2687</b>	<b>8.645,2687</b>

### 3.5.8. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-03)

Tabel 3. 23. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-03)

<b>Komponen</b>	<b>Masuk (kkal/jam)</b>	<b>Keluar (kkal/jam)</b>
Q feed	125.021,3865	114.265,3994
Q pendingin		10.755,9870
<b>Total</b>	<b>125.021,3865</b>	<b>125.021,3865</b>

### 3.5.9. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-04)

Tabel 3. 24. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-04)

<b>Komponen</b>	<b>Masuk (kj/jam)</b>	<b>Keluar (kj/jam)</b>
Q feed	109.758,8470	100.925,2998
Q pendingin		8.833,5472
<b>Total</b>	<b>109.758,8470</b>	<b>109.758,8470</b>

### 3.5.10. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-05)

Tabel 3. 25. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-05)

<b>Komponen</b>	<b>Masuk (kkal/jam)</b>	<b>Keluar (kkal/jam)</b>
Q feed	152.210,9433	3.469,3362
Q pendingin		148.741,6072
<b>Total</b>	<b>152.210,9433</b>	<b>152.210,9433</b>

### 3.5.11. Neraca Panas Kondensor (CD-01)

Tabel 3. 26. Neraca Panas Kondensor (CD-01)

<b>Input</b>	<b>kkal/jam</b>	<b>Output</b>	<b>kkal/jam</b>
Panas Masuk	28.573,42	Panas Keluar Gas	2.758,59
		Panas Keluar Cair	11.499,72
		Panas Pendinginan	14.315,10
<b>Jumlah</b>	<b>28.573,42</b>	<b>Jumlah</b>	<b>28.573,42</b>

### 3.5.12. Neraca Panas Kondensor (CD-02)

Tabel 3. 27. Neraca Panas Kondensor (CD-02)

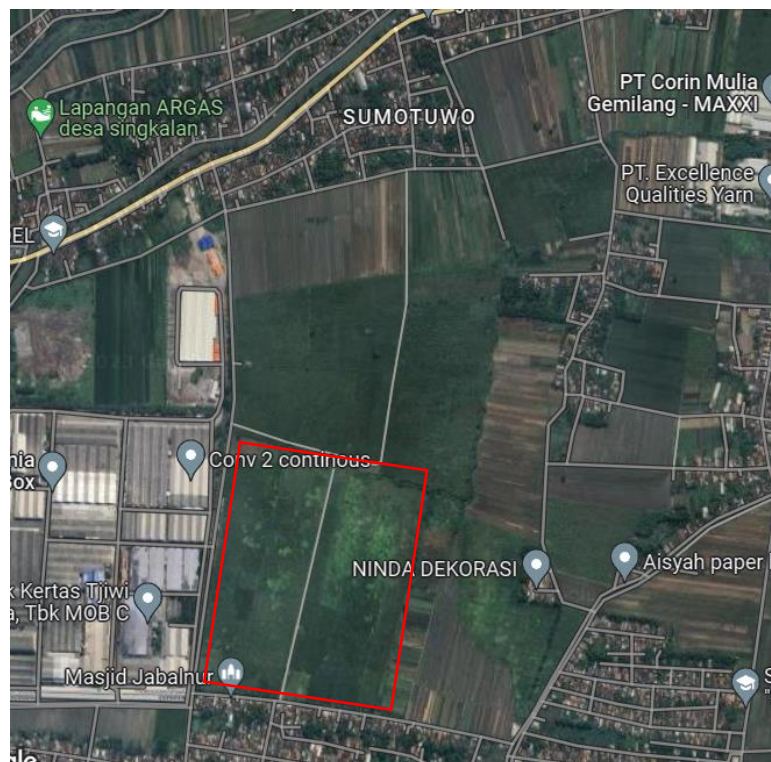
<b>Input</b>	<b>kkal/jam</b>	<b>Output</b>	<b>kkal/jam</b>
Panas Masuk	36.362,41	Panas Keluar Gas	1.828,68
		Panas Keluar Cair	3.647,25
		Panas Pendinginan	30.886,48
<b>Jumlah</b>	<b>36.362,41</b>	<b>Jumlah</b>	<b>36.362,41</b>

## BAB IV

### PERANCANGAN PABRIK

#### 4.1. Lokasi Pabrik (*Plant Location*)

Pabrik yang dirancang membutuhkan tempat untuk berdirinya pabrik tersebut. Terdapat banyak hal dan alasan yang membuat pabrik memilih lokasi yang sesuai. Sehingga mendapatkan lokasi strategis dari segi ekonomi konsumen dan produsen adalah hal yang harus diperhatikan lebih dalam pendirian pabrik. Lokasi pabrik yang baik dapat menurunkan biaya produksi dan menurunkan biaya transportasi suatu pabrik. Pabrik DIBK dengan kapasitas 15.000 ton/tahun ini direncanakan akan didirikan di Desa Midugading, Kecamatan Tarik, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.



*Gambar 4. 1. Rencana Lokasi Pendirian Pabrik*

Ada dua faktor yang menentukan berdirinya pabrik yaitu: Faktor Primer yang meliputi kedekatan bahan baku, Infrastruktur, pemasaran terhadap konsumen dan produsen. Faktor Sekunder meliputi, ketersediaan air, utilitas, tenaga kerja, peraturan pemerintah, dan iklim.

Kedua faktor tersebut merupakan hal yang penting yang harus dipertimbangkan pada perancangan pabrik. Dengan menganalisa kebutuhan pabrik dari kedua faktor tersebut maka dapat ditentukan dimana pabrik dapat berdiri.

Beberapa faktor primer dan sekunder yang dapat dipertimbangkan dalam mendirikan pabrik:

#### **4.1.1. Faktor Primer**

- 1) Aksesibilitas Bahan Baku: Lokasi pabrik dipilih karena kemudahan akses oleh pasokan bahan baku dan distribusi produk. Bahan baku utama yang digunakan yaitu aceton yang diimpor dan perlu pengiriman melalui jalur darat karena lokasi cukup jauh dari pelabuhan maupun Bandar udara tetapi masih dekat dengan jalan tol. Kemudian, bahan baku pendukung yang digunakan ialah hidrogen yang dipasok dari PT. Sindopex Perotama yang berada  $\pm$  5km dari lokasi perencanaan pendirian pabrik. Hal ini dipilih karena bahan baku hydrogen membutuhkan penanganan yang lebih khusus dibanding bahan baku aceton. Kondisi tersebut merupakan pilihan untuk pengamanan ketersediaan bahan baku dan perolehan bahan baku yang ekonomis.

- 2) **Infrastruktur:** Wilayah yang dipilih memiliki infrastruktur yang memadai, seperti listrik, air bersih, jaringan telekomunikasi, jalan, pelabuhan, lapangan terbang serta jalur kereta api. Infrastruktur yang baik akan memudahkan operasional pabrik. Sarana transportasi pengangkutan bahan baku dan produk sangat memadai karena lokasi pabrik dikelilingi sarana transportasi darat yang memadai serta dekat dengan jalan tol.
- 3) **Pemasaran (Konsumen dan Produsen):** Lokasi pabrik dipilih dekat dengan kehadiran pelanggan. Pilihan tersebut dibuat untuk membuat distribusi dan pemasaran produk lebih mudah. Pemasaran yang tepat akan menghasilkan keuntungan dan memastikan kelangsungan pabrik. Selain itu untuk kebutuhan ekspor, pabrik ini juga dapat mendistribusikannya dengan mudah melalui akses jalan tol yang terhubung dengan pabrik.

#### **4.1.2. Faktor Sekunder**

- 1) **Regulasi dan Kebijakan Pemerintah:** Mempelajari kebijakan pemerintah setempat terkait perizinan, peraturan lingkungan, kebijakan pajak, dan insentif yang mungkin ada untuk industri manufaktur.
- 2) **Biaya Operasional:** Tinjau biaya operasional di wilayah tersebut, termasuk biaya tanah, sewa, tenaga kerja, dan utilitas. Pertimbangkan juga faktor-faktor seperti pajak properti dan biaya hidup.



- 3) Risiko Lingkungan: Evaluasi risiko lingkungan yang terkait dengan lokasi tersebut, seperti bencana alam, polusi, atau perubahan iklim. Pastikan lokasi pabrik tidak terlalu rentan terhadap risiko tersebut. Lokasi yang dipilih merupakan lokasi yang cukup stabil karena memiliki iklim rata-rata yang cukup baik. Seperti daerah lain di Indonesia yang beriklim tropis dengan suhu udara sekitar 30°C. Bencana alam seperti tanah longsor ataupun banjir sangat jarang terjadi sehingga operasi pabrik dapat berjalan lancar.
- 4) Tenaga Kerja: Tenaga kerja yang didapat harus memenuhi kriteria dari segi skill (operasional, pekerja lapangan, dan direktur) dan non skill (satpam, *cleaning service*, dll). Tenaga kerja adalah kunci untuk mendirikan pabrik. Sebagian besar orang yang dibutuhkan berpendidikan kejuruan atau menengah, serta sebagian sarjana. Lokasi yang dipilih memiliki banyak lembaga pendidikan yang berfokus pada kimia industri. Dengan adanya lembaga pendidikan formal, akan ada peningkatan kualitas dan kuantitas tenaga kerja ahli maupun non-ahli.
- 5) Utilitas: Lokasi pabrik yang dipilih harus memiliki sumber air yang memadai secara kuantitas dan kualitas. Sumber daya yang diperlukan adalah air, bahan bakar, dan listrik. Sumber air yang digunakan berasal dari aliran Sungai Brantas, air sungai dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan untuk air proses, air sanitasi, dan air umpan *heat exchanger*. Diesel digunakan sebagai bahan bakar, dan PLN menyediakan listrik.

## 4.2. Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik adalah bagian penting untuk mencapai keselamatan dan efisiensi, sehingga bagian-bagian pabrik yang meliputi kantor, area proses dan penyimpanan bahan/produk harus diperhatikan letaknya. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan tata letak pabrik, antara lain:

### 1) Perluasan pabrik

Area perluasan di dalam suatu pabrik sangat penting peranannya karena diharapkan tidak menjadi masalah dimasa yang akan datang apabila pabrik menginginkan penambahan kapasitas ataupun mengolah bahan baku sendiri.

### 2) Letak Bangunan

Bangunan pabrik harus memenuhi standart operasional pabrik sesuai dengan peraturan yang telah disediakan. Selain itu kualitas dan kuantitas pabrik harus diperhatikan yang dapat menyebabkan masalah terhadap biaya maintance pabrik secara bertahap.

### 3) Harga tanah

Harga tanah pada lokasi pabrik yang akan didirikan harus memenuhi standar pabrik dimana biaya keseluruhan harus diperhitungkan untuk mendapatkan keuntungan. Harga tanah yang mahal dapat membuat pabrik susah mendapatkan keuntungan yang besar.

### 4) Faktor Keamanan dan Lingkungan

Keamanan pabrik meruapakan hal penting yang dibutuhkan oleh pabrik sehingga operasional pabrik berjalan dengan lancar dan tidak ada

hambatan. Keamanan pabrik dapat dilihat dari letak bangunan pabrik dan lingkungan alam sekitar. Selain itu penjagaan pabrik dan maintenance alat operasional pabrik dibutuhkan sehingga pabrik tidak mengalami hal seperti kebakaran, kebocoran, dan lain lain.

#### **4.3. Tata letak Mesin/Alat Proses (*Machines Layout*)**

Alat proses yang digunakan harus mengikuti proses perancangan yang digunakan. Dalam menentukan alat proses beberapa hal yang dipertimbangan yaitu:

1) Proses alur bahan baku dan alat proses

Bahan baku yang akan di proses harus diperhatikan jaraknya dengan alat proses. Jarak yang dibutuhkan jangan sampai merugikan dalam hal waktu dan transportasi yang digunakan dalam serta merugikan ekonomi pabrik

2) Utilitas

Penggunaan utilitas yang baik tidak jauh dari alat proses dan dapat dijangkau dengan mudah. Mulai dari

3) Operasi

Pada peralatan yang membutuhkan perhatian lebih dari operator harus diletakkan dekat control room. Valve, tempat pengambilan sampel, dan instrumen harus diletakkan pada posisi dan ketinggian yang mudah dijangkau oleh operator.

4) Keamanan dan Perawatan

Letak alat proses sebaiknya harus tepat dan mudah terjangkau dengan keamanan. Apabila pabrik mengalami kerusakan pada atau kebakaran maka keamanan seperti pemadam kebakaran akan lebih mudah mencapai lokasi sehingga kerusakan yang ditimbulkan akan berkurang.

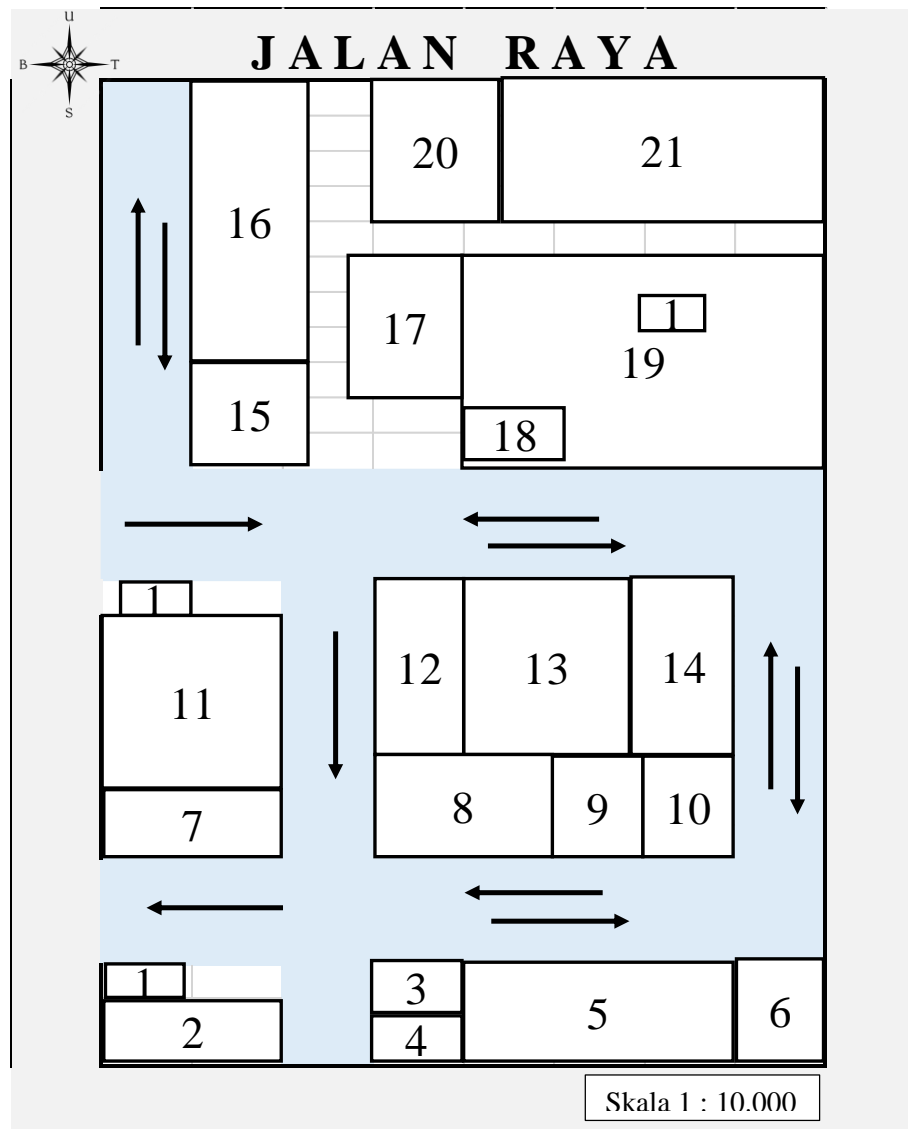
5) Perluasan Pabrik

Apabila konsumen yang menginginkan produk lebih, maka sebagai pabrik yang baik akan dapat memenuhi serta mendapatkan penghasilan lebih.

Oleh karena itu adanya rencana perluasan pabrik akan menguntungkan pabrik dengan melihat kebutuhan produk konsumen yang tumbuh setiap tahunnya.

6) Transportasi produk dan pekerja

Pabrik yang jadi harus memikirkan tempat transportasi produk yang sudah jadi dan para pekerja yang terdapat dalam pabrik. Para pekerja memerlukan tempat parkir portasi yang disediakan oleh pabrik dalam hal transportasi. Oleh karena itu diajarkan adanya sarana transportasi pabrik yang baik bagi produk dan para pekerja.



Gambar 4. 2. Rencana Tata Letak Pabrik

Tabel 4. 1. Keterangan Tata Letak Pabrik

No	Nama Bangunan	Luas (m <sup>2</sup> )
1	Pos Penjaga	200
2	Laboratorium	600
3	Parkiran Tamu	200
4	Unit K3	200
5	Unit Pemadam Kebakaran	1.500
6	Gudang Peralatan	400
7	Area Parkir I	1.100
8	Taman	1.500
9	Masjid	400
10	Kantin	400
11	Kantor Logistik	1.700
12	Area Parkir II	1.100
13	Kantor Utama	1.000
14	Klinik	1.500
15	Bengkel	500
16	Parkiran Truk	1.300
17	Penyimpanan Bahan Baku	1.200
18	Control Room	500
19	Area Produksi Unit	6.000
20	Penyimpanan Produk	1.200
21	Utilitas	5.000
<b>Total Luas Bangunan</b>		<b>27.500</b>
<b>Luas Tanah</b>		<b>32.400</b>
<b>Total Luas</b>		<b>59.900</b>

#### 4.4. Organisasi Perusahaan

##### 4.4.1. Bentuk Perusahaan

Bentuk perusahaan yang dipilih adalah Perseroan Terbatas (PT) yang berbentuk badan hukum. Sebagai badan usaha, PT memiliki tujuan untuk melakukan kegiatan bisnis dan menghasilkan keuntungan. Berikut merupakan alasan bentuk perusahaan dalam bentuk PT:

1. Pemilik atau pemegang saham PT hanya bertanggung jawab terbatas terhadap utang dan kewajiban Perusahaan.
2. PT memiliki kontinuitas bisnis yang terpisah dari pemiliknya. PT dapat melanjutkan kegiatan bisnisnya meskipun terjadi perubahan dalam kepemilikan saham atau pergantian manajemen.
3. Memiliki akses lebih besar terhadap sumber daya finansial, seperti pinjaman bank.
4. Umumnya dianggap memiliki kredibilitas dan kepercayaan yang lebih tinggi daripada bisnis yang tidak berbadan hukum. Dimana pemegang saham dapat memilih direktur yang baik melalui rapat umum.
5. Kepemilikan saham yang dapat diperdagangkan.

#### **4.4.2. Struktur Perusahaan**

Struktur organisasi adalah salah satu faktor penting penunjang kemajuan perusahaan. Agar mendapatkan suatu sistem organisasi yang baik maka perlu diperhatikan beberapa pedoman antara lain: perumusan tujuan perusahaan, pembagian tugas kerja, kesatuan perintah dan tanggung jawab, system pengendalian pekerjaan, dan organisasi perusahaan. Tanpa manajemen yang teratur, baik dari kinerja sumber daya manusia maupun terhadap fasilitas yang ada secara otomatis organisasi akan berkembang.

Arti dari organisasi, berasal dari kata Latin “organum” yang dapat berarti alat, anggota badan James D. Mooney, mengatakan: “Organisasi adalah bentuk setiap perserikatan manusia untuk mencapai suatu tujuan

bersama”, sedangkan Chester I. Barnard memberikan pengertian organisasi sebagai: “Suatu sistem daripada aktivitas kerjasama yang dilakukan dua orang atau lebih”. Dari pendapat para ahli dapat diambil arti dari kata organisasi, yaitu kelompok orang yang secara sadar bekerja sama untuk mencapai tujuan bersama dengan menekankan wewenang dan tanggung jawab masing-masing. Secara ringkas, ada tiga unsur utama dalam organisasi, yaitu:

1. Adanya sekelompok orang
2. Adanya hubungan dan pembagian tugas
3. Adanya tujuan yang ingin dicapai

Dalam rangka menjalankan suatu proses pabrik dengan baik dalam hal ini di suatu perusahaan, diperlukan suatu manajemen atau organisasi yang memiliki pembagian tugas dan wewenang yang baik. Struktur organisasi dari suatu perusahaan dapat bermacam-macam sesuai dengan bentuk dan kebutuhan dari masing-masing perusahaan. Jenjang kepemimpinan dalam perusahaan ini adalah sebagai berikut:

### **1. Pemegang Saham**

Pemegang saham adalah Kumpulan orang yang bekerja sama mengumpulkan modal untuk kepentingan pendirian dan berjalannya operasi perusahaan tersebut. Kekuasaan tinggi pada suatu perusahaan yang mempunyai bentuk perseroan terbatas adalah rapat umum pemegang saham. Pada rapat umum pemegang saham memiliki beberapa hak atau tugas:

- a. Mengangkat dan memberhentikan Dewan Komisaris
- b. Mengangkat dan memberhentikan Direktur
- c. Mengesahkan hasil usaha serta neraca perhitungan untung dan rugi tahunan dari perusahaan

## **2. Dewan Komisaris**

Dewan Komisaris merupakan komponen penting dari tata kelola perusahaan. Dewan Komisaris biasanya terdiri dari sekelompok individu yang bertanggung jawab untuk mengawasi manajemen dan arah perusahaan atau organisasi.

Ada berbagai jenis Dewan Komisaris, yang bekerja untuk perusahaan publik, organisasi non-profit, lembaga pemerintah, dan perusahaan lainnya. Komposisi, struktur, dan tanggung jawab setiap dewan dapat bervariasi tergantung pada jenis dan keadaan spesifiknya. Sehingga beberapa tugas yang dipegang oleh dewan komisaris:

- a. Menilai dan menyetujui rencana direksi tentang kebijaksanaan umum, target laba perusahaan, alokasi sumber-sumber dana dan pengarahannya pemasaran.
- b. Mengawasi tugas-tugas direktur utama.
- c. Membantu direktur utama dalam hal-hal penting



### **3. Direktur Utama**

Direktur Utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan dan bertanggung jawab sepenuhnya dalam hal maju mundurnya perusahaan. Direktur Utama bertanggung jawab pada Dewan Komisaris atas segala tindakan dan kebijaksanaan yang telah diambil sebagai pimpinan perusahaan. Direktur Utama membawahi Direktur Produksi, Direktur Pemasaran, Direktur Teknik dan Pengembangan, Direktur Keuangan serta Direktur Sumber Daya Manusia dan Umum.

### **4. Direktur**

Seorang Direktur merupakan posisi manajemen tingkat atas dalam sebuah perusahaan. Tugas dan tanggung jawab seorang Direktur bervariasi tergantung pada jenis dan ukuran perusahaan

### **5. *General Manager* (Kepala Bagian)**

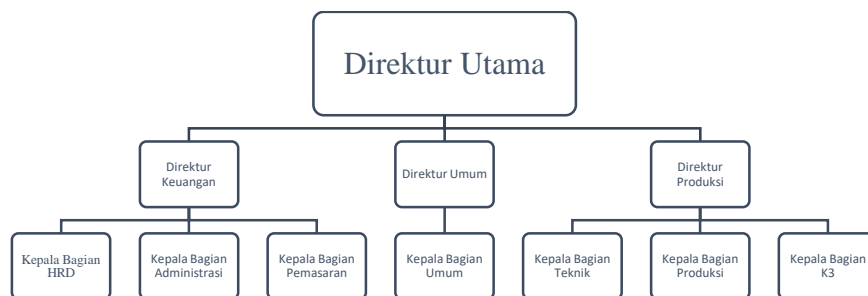
Seorang *General Manager* (GM) memiliki peran kunci dalam organisasi atau perusahaan. Pekerjaan utama seorang *General Manager* adalah mengawasi dan mengkoordinasi operasi keseluruhan perusahaan untuk mencapai tujuan strategis yang ditetapkan oleh manajemen tingkat atas.

Berikut ini adalah beberapa kegunaan atau peran umum seorang *General Manager*:

- a. GM Produksi: bertanggung jawab atas pengelolaan operasional sehari-hari perusahaan untuk kegiatan berjalan lancar dan sesuai dengan rencana.
- b. GM Pemasaran: Membuat keputusan strategis yang berkaitan dengan arah bisnis dan pengembangan perusahaan
- c. GM Pengembangan usaha: perencanaan strategis jangka panjang perusahaan
- d. GM Sumber Daya Manusia dan Umum: Seorang *General Manager* mengelola sumber daya perusahaan, termasuk anggaran, personel, dan aset perusahaan.

**6. Manager (Kepala Seksi)**

Manager adalah seseorang yang bertanggung jawab atas pengelolaan, pengawasan, dan koordinasi suatu tim, departemen, atau organisasi dalam mencapai tujuan tertentu. Manajer merupakan pemimpin atau supervisor yang memiliki tanggung jawab untuk mengarahkan sumber daya manusia, keuangan, dan material agar efektif dan efisien dalam mencapai hasil yang diinginkan.



*Gambar 4. 3. Struktur Organisasi Pabrik*

#### 4.4.3. Sistem Pegawai dan Penggolongan Gaji

##### 1. Pembagian Jadwal Kerja

Sistem kepegawaian pada pabrik ini terdapat dua bagian, yaitu jadwal kerja kantor (non-shift) dan jadwal kerja pabrik (shift). Sedangkan gaji karyawan berdasarkan pada jabatan, tingkat pendidikan, serta pengalaman kerja pegawai, dan resiko kerja.

###### a. Karyawan *non shift*

Karyawan *non shift* adalah karyawan yang tidak menangani proses produksi secara langsung. Yang termasuk karyawan non shift adalah direktur, staf ahli, *General Manager*, manager serta bagian administrasi. Jadwal kerja karyawan *non shift* sebagai berikut:

Hari Senin – Jumat

Pukul 07.00–11.30 (jam kerja)

Pukul 11.30–12.30 (istirahat)

Pukul 12.30–15.30 (jam kerja)

Hari sabtu, minggu dan hari besar libur

###### b. Karyawan *shift*

Karyawan *shift* adalah karyawan yang langsung menangani proses produksi pada pabrik. Karyawan shift merupakan operator produksi, sebagian bagian teknik, bagian gudang,

bagian keamanan dan bagian-bagian yang harus selalu siaga untuk menjaga keselamatan dan keamanan pabrik.

Karyawan shift dibagi dalam 3 *shift* dengan waktu dan peraturan sebagai berikut

Shift I : 07.30 -15.30

Shift II : 15.30 – 23.30

Shift III : 23.30 – 07.30

*Tabel 4. 2. Pembagian Jadwal Shift*

Regu	Hari														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	I	I	I	-	II	II	II	-	III	III	III	-	I	I	I
B	-	II	II	II	-	III	III	III	-	I	I	I	-	II	II
C	II	-	III	III	III	-	I	I	I	-	II	II	II	-	III
D	III	III	-	I	I	I	-	II	II	II	-	III	III	III	-

*Tabel 4. 3. Pembagian Jadwal Shift (Lanjutan)*

Regu	Hari														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	-	I	I	I	-	II	II	II	-	III	III	III	-	I	I
B	I	-	II	II	II	-	III	III	III	-	I	I	I	-	II
C	II	II	-	III	III	III	-	I	I	I	-	II	II	-	III
D	III	III	III	-	I	I	I	-	II	II	II	-	III	-	I

## 2. Cuti tahunan

Karyawan mempunyai hak cuti tahunan selama 12 hari dalam 1 tahun. Bila dalam waktu 1 tahun hak cuti tersebut tidak dipergunakan maka hak tersebut akan hilang pada tahun tersebut.

### 3. Hari Libur Nasional

Bagi karyawan harian (*non shift*), hari libur nasional tidak masuk kerja. Sedangkan bagi karyawan shift, hari libur nasional tetap masuk kerja dengan catatan diperhitungkan sebagai kerja lembur (*overtime*).

### 4. Kerja Lembur

Kerja lembur dapat dilakukan apabila ada keperluan yang mendesak dan atas persetujuan kepala bagian.

### 5. Penggolongan Gaji Karyawan

Gaji karyawan dibayarkan setiap bulan pada awal bulan tanggal

1. Bila tanggal tersebut merupakan hari libur, maka pembayaran gaji dilakukan sehari sebelumnya. Selain itu, penggajian dapat dipercepat pada tanggal 30 atau 31 akhir bulan.

*Tabel 4. 4. Penggolongan Gaji Karyawan*

<b>Jabatan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Gaji bulanan/orang</b>	<b>Total gaji bulanan</b>	<b>Total gaji tahunan</b>
Direktur Utama	1	Rp45.000.000	Rp45.000.000	Rp540.000.000
Direktur	3	Rp35.000.000	Rp105.000.000	Rp1.260.000.000
General Manager	6	Rp25.000.000	Rp150.000.000	Rp1.800.000.000
Manager	14	Rp20.000.000	Rp280.000.000	Rp3.360.000.000
Karyawan	43	Rp6.500.000	Rp279.500.000	Rp3.354.000.000
Operator	110	Rp6.000.000	Rp660.000.000	Rp7.920.000.000
Dokter	2	Rp10.000.000	Rp20.000.000	Rp240.000.000
Cleaning Service	10	Rp3.600.000	Rp36.000.000	Rp432.000.000
Security	16	Rp4.000.000	Rp64.000.000	Rp768.000.000
Driver	3	Rp3.600.000	Rp10.800.000	Rp129.600.000
Bengkel	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000	Rp96.000.000
<b>Total</b>			<b>Rp1.658.300.000</b>	<b>Rp19.899.600.000</b>

## **BAB V**

### **UTILITAS**

Utilitas pada suatu pabrik merupakan sarana penunjang utama dalam kelancaran proses produksi. Agar proses produksi tersebut dapat terusberkesinambungan harus didukung oleh sarana dan prasarana utilitas yang baik. Utilitas adalah sekumpulan unit-unit atau bagian dari sebuah pabrik kimia yang berfungsi untuk menyediakan kebutuhan penunjang proses produksi. Berdasarkan kebutuhannya, penyediaan utilitas yang tersedia pada pabrik pembuatan DIBK ini meliputi:

#### **5.1. Unit Penyediaan Dan Pengolahan Air**

##### **5.1.1. Unit Penyediaan Air**

Salah satu unit utilitas adalah unit penyediaan air, yang bertanggung jawab untuk menyediakan air untuk kebutuhan industri dan rumah tangga. Kelancaran proses produksi dari awal hingga akhir sangat dipengaruhi oleh unit ini. Untuk memenuhi kebutuhan air pabrik, biasanya menggunakan air sumur, air sungai, air danau, atau air laut sebagai sumbernya. Untuk perancangan pabrik ini, air baku yang digunakan adalah air sungai. Menggunakan air sungai sebagai sumber air harus mempertimbangkan hal-hal berikut:

- 1) Pengolahan air sungai relatif lebih mudah, sederhana, dan biaya pengolahan relatif murah dibandingkan dengan proses pengolahan air laut yang lebih rumit dan biaya pengolahannya yang lebih besar.
- 2) Air sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya relatif tinggi jika dibandingkan dengan air sumur, sehingga kendala kekurangan air dapat dihindari.
- 3) Jumlah air sungai lebih banyak dibandingkan air sumur.
- 4) Letak sungai berada tidak terlalu jauh dengan pabrik.

Air yang berada dalam lingkungan pabrik, digunakan untuk:

- 1) Air untuk proses

Hal-hal yang diperhatikan dalam air proses antara lain:

- Kesadahan (*hardness*) yang dapat menyebabkan kerak.
- Oksigen yang dapat menimbulkan korosi.
- Minyak yang dapat menyebabkan terbentuknya lapisan film yang mengakibatkan terganggunya koefisien transfer panas serta menimbulkan endapan.

- 2) Air pendingin

Pada umumnya, ada beberapa faktor yang menyebabkan air digunakan sebagai media pendingin, yaitu:

- Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah yang besar.
- Mudah dalam pengaturan dan pengolahannya.

- Dapat menyerap sejumlah panas per satuan volume yang tinggi dan tidak terdekomposisi.
- Tidak mengalami peyusutan yang berarti dalam batasan dengan adanya temperatur pendinginan.

### 3) Air boiler

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler adalah:

- Zat-zat yang dapat menyebabkan korosi
- Korosi disebabkan air mengandung larutan-larutan asam, gas gas terlarut seperti O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S yang masuk ke badan air.
- Zat yang dapat menyebabkan kerak (*scale reforming*)  
Pembentukan kerak disebabkan karena adanya kesadahan dan suhu tinggi, yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silikat.
- Zat yang menyebabkan *Foaming* dan *Priming*.
- *Foaming* adalah terbentuknya gelembung atau busa dipermukaan air dan keluar bersama steam. Air yang diambil kembali dari proses pemanasan bisa menyebabkan *foaming* pada boiler karena adanya zat-zat organik dan anorganik dalam jumlah cukup besar. Efek pembusaan terjadi pada alkalinitas tinggi. Sedangkan, *Priming* adalah adanya tetes air dalam steam (buih dan kabut) yang menurunkan efisiensi energi steam dan pada akhirnya menghasilkan deposit kristal



garam. Priming dapat disebabkan oleh konstruksi boiler yang kurang baik, kecepatan alir yang berlebihan atau fluktuasi tiba-tiba dalam aliran.

#### 4) Air sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk keperluan kantor dan rumah tangga perusahaan, yaitu air minum, laboratorium, dan lain-lain. Air sanitasi yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat tertentu, antara lain:

✓ Syarat fisik:

- Suhu normal dibawah suhu udara luar
- Warna jernih
- Tidak berasa
- Tidak berbau

✓ Syarat kimia:

- Tidak mengandung zat organik maupun anorganik
- Tidak beracun

✓ Syarat bakteriologis:

- Tidak mengandung bakteri-bakteri, terutama bakteri patogen, seperti Salmonella, Pseudomonas, Escherichia coli.

### **5.1.2. Unit Pengolahan Air**

Kebutuhan air pabrik diperoleh dari air sungai dengan mengolah terlebih dahulu agar memenuhi syarat untuk digunakan. Pengolahan dapat

meliputi secara fisik dan kimia. Adapun tahapan tahapan pengolahan air adalah sebagai berikut:

1) Penyaringan Awal/*screen*

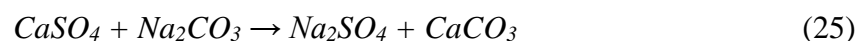
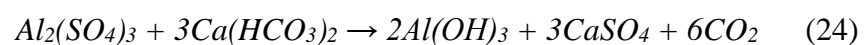
Sebelum mengalami proses pengolahan, air dari sungai harus mengalami pembersihan awal agar proses selanjutnya dapat berlangsung dengan lancar. Air sungai dilewatkan screen (penyaringan awal) berfungsi untuk menahan kotoran-kotoran yang berukuran besar seperti kayu, ranting, daun, sampah dan sebagainya. Kemudian dialirkan ke bak pengendap.

2) Bak Pengendap Awal

Air sungai setelah melalui filter dialirkan ke bak pengendap awal. Untuk mengendapkan lumpur dan kotoran air sungai yang tidak lolos dari penyaring awal (*screen*). Kemudian dialirkan ke bak pengendap yang dilengkapi dengan pengaduk. C

3) Bak Penggumpal

Air setelah melalui bak pengendap awal kemudian dialirkan ke bak penggumpal untuk menggumpalkan koloid-koloid tersuspensi dalam cairan (larutan) yang tidak mengendap di bak pengendap dengan cara menambahkan senyawa kimia. Umumnya flokulan yang biasa digunakan adalah tawas ( $Al_2(SO_4)_3$ ) dan  $Na_2CO_3$ . Adapun reaksi yang terjadi dalam bak penggumpal adalah:



#### 4) Clarifier

Air setelah melewati bak penggumpal dialirkan ke clarifier untuk memisahkan/mengendapkan gumpalan – gumpalan dari bak penggumpal. Air baku yang telah dialirkan ke dalam clarifier yang alirannya telah diatur ini akan diaduk dengan agitator. Air keluar clarifier dari bagian pinggir secara overflow sedangkan sludge (flok) yang terbentuk akan mengendap secara gravitasi dan di blow down secara berkala dalam waktu yang telah ditentukan.

#### 5) Bak Penyaring/sand filter

Air setelah keluar dari clarifier dialirkan ke bak saringan pasir, dengan tujuan untuk menyaring partikel-partikel halus yang masih lolos atau yang masih terdapat dalam air dan belum terendapkan. Dengan menggunakan sand filter yang terdiri dari antrasit, pasir, dan kerikil sebagai media penyaring.

#### 6) Bak Penampung Sementara

Air setelah keluar dari bak penyaring dialirkan ke tangki penampung yang siap akan kita distribusikan sebagai air perumahan/perkantoran, air umpan boiler, air pendingin dan sebagai air proses.

#### 7) Tangki Karbon Aktif

Air setelah melalui bak penampung dialirkan ke Tangki Karbon Aktif. Air harus ditambahkan dengan klorin atau kaporit untuk membunuh kuman dan mikroorganisme seperti amuba, ganggang dan lain-lain yang terkandung dalam air sehingga aman untuk

dikonsumsi. Klorin adalah zat kimia yang sering dipakai karena harganya murah dan masih mempunyai daya desinfeksi sampai beberapa jam setelah pembubuhannya. Klorin dalam air membentuk asam hipoklorit, reaksinya adalah sebagai berikut:



Selanjutnya, asam hipoklorit pecah sesuai reaksi berikut:



Kemudian air dialirkan ke Tangki air bersih untuk keperluan air minum dan perkantoran.

8) Tangki air bersih

Tangki air bersih ini fungsinya untuk menampung air bersih yang telah diproses. Dimana air bersih ini digunakan untuk keperluan air minum dan perkantoran.

**5.1.3. Kebutuhan Air**

*Tabel 5. 1. Jumlah Kebutuhan Air*

<b>Kebutuhan</b>	<b>Jumlah (Kg/jam)</b>
Air Make Up	13,90
Air Pendingin	343,76
Air Steam	16.491,62
Air Domestik	215,04
<b>Total</b>	<b>17.064,32</b>

**5.2. Unit Pembangkit Steam**

Unit ini bertujuan untuk mencukupi kebutuhan steam pada proses produksi, yaitu dengan menyediakan ketel uap (*boiler*) dengan kebutuhan

steam 332,08 kg/jam. Sebelum masuk ke boiler, umpan dimasukkan dahulu ke dalam economizer, yaitu alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran minyak residu yang keluar dari boiler. Di dalam alat ini air dinaikkan temperaturnya hingga 150°C, kemudian diumpankan ke boiler. Di dalam boiler, api yang keluar dari alat pembakaran (*burner*) bertugas untuk memanaskan tungku pembakaran dan Lorong api. Gas sisa pembakaran ini masuk ke economizer sebelum dibuang melalui cerobong asap, sehingga air di dalam boiler menyerap panas dari dinding-dinding dan pipa-pipa maka air menjadi mendidih.

### **5.3. Unit Pembangkit Listrik**

Untuk memenuhi kebutuhan listrik pabrik DIBK, PLN adalah sumber daya utamanya. Pabrik ini juga memiliki generator listrik yang berfungsi sebagai sumber cadangan listrik apabila listrik utama PLN mengalami gangguan. Generator juga digunakan untuk menggerakkan beberapa alat, seperti boiler dan pompa. Tujuan dari hal ini adalah untuk menjamin bahwa pasokan listrik tetap berjalan bahkan saat PLN mengalami gangguan. Menggunakan listrik PLN memiliki keuntungan, yaitu biaya listriknya relatif murah.

Unit ini bertugas untuk menyediakan kebutuhan listrik yang meliputi:

- 1) Kebutuhan Plant (Alat Proses dan utilitas)
- 2) Rumah tangga, perkantoran dll
- 3) Lab, Alat instrumentasi, dan control

Tabel 5. 2. Kebutuhan Listrik Unit Proses

Nama Alat	Jumlah	Daya (HP)	Total HP	Total kW	kWh 1 tahun
R-01	1	60	60	44,742	354.356,64
R-02	1	60	60	44,742	354.356,64
MD-01	1	15	15	11,186	88.589,16
MD-02	1	15	15	11,186	88.589,16
P-01	1	0,252	0,252	0,188	1.489,48
P-02	1	0,048	0,048	0,036	282,30
P-03	1	0,006	0,006	0,004	33,66
P-04	1	0,003	0,003	0,002	18,90
P-05	1	0,147	0,147	0,110	867,58
P-06	1	0,146	0,146	0,109	864,63
P-07	1	0,022	0,022	0,016	128,75
P-08	1	0,119	0,119	0,088	699,85
P-09	1	0,177	0,177	0,132	1.042,99
P-10	1	0,081	0,081	0,061	480,15
<b>Jumlah</b>	<b>14</b>	<b>151,000</b>	<b>151,000</b>	<b>112,601</b>	<b>891.799,91</b>

Tabel 5. 3. Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

Alat	Jumlah	Daya (HP)	Total HP	Total kW	kWh 1 tahun
PU-01	1	7	7	5.220	41,341.61
PU-02	1	1 3/4	1.75	1.305	10,335.40
PU-03	1	0.133	0.133	0.099	785.49
PU-04	1	0.133	0.133	0.099	785.49
PU-05	1	1 3/4	2	1.305	10,335.40
PU-06	1	1.25	1.25	0.932	7,382.43
PU-07	1	0.75	0.75	0.559	4,429.46
PU-08	1	1.25	1.25	0.932	7,382.43
PU-09	1	1.25	1.25	0.932	7,382.43
CT-01	1	2	2	1.491	11,811.89
<b>Jumlah</b>	<b>10</b>	<b>17.266</b>	<b>17.266</b>	<b>12.875</b>	<b>101,972.029</b>

Tabel 5. 4. Kebutuhan Listrik Total

<b>Kebutuhan</b>	<b>kW</b>	<b>kWh/tahun</b>
1. Listrik untuk keperluan proses dan utilitas	276,048	2.186.298,26
2. Listrik untuk keperluan penerangan	42,261	334.707,12
3. Listrik untuk AC	106,400	842.688,00
4. Listrik untuk PC dan elektronik	14,163	112.167,00
5. Listrik untuk laboratorium dan instrumentasi	16,927	134.062,24
<b>Total</b>	<b>455,798</b>	<b>3.609.922,61</b>

#### 5.4. Unit Penyedia Bahan Bakar

Bahan bakar digunakan untuk keperluan pembakaran pada boiler, diesel untuk generator pembangkit listrik dan furnace. Bahan bakar boiler menggunakan fuel oil yang disuplai dari PT. PERTAMINA (Persero) dengan total langsung sebanyak 54.930 L/Jam.

#### 5.5. Unit Pengolahan Limbah

Limbah yang dihasilkan dari pabrik aluminium sulfat berupa buangan padat, cair dan gas.

##### a. Pengolahan Limbah Cair

Limbah cair pabrik ini berupa:

##### 1) Limbah proses

Limbah cair berupa cairan sisa dari air pada tangki pengendap yang tidak digunakan untuk proses. Limbah cair yang keluar akan ditampung terlebih dahulu di bak penampung.

##### 2) Limbah cair hasil pencucian peralatan pabrik

Limbah ini diperkirakan mengandung kerak dan kotoran-kotoran yang melekat pada peralatan pabrik.

3) Limbah domestik dan kantor

Limbah ini mengandung bahan organik yang berasal dari kamar mandi di lokasi pabrik serta limbah dari kantin berupa limbah padat dan cair. Limbah cair merupakan hasil buangan limbah domestik dan limbah utilitas semua diolah di dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

4) Limbah laboratorium

Limbah yang berasal dari laboratorium mengandung bahan kimia yang digunakan untuk menganalisis kualitas bahan baku dan produk, serta yang digunakan untuk penelitian dan pengembangan proses. Limbah laboratorium termasuk kategori limbah B3 sehingga dalam penanganannya harus dikirim ke pengumpul limbah B3, yaitu Pusat Pengelolaan Sampah dan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (PPSLB3) yang dikelola PT. Pratama Jatim Lestari (PJT) di Dawarblandong, Kab. Mojokerto, Jawa Timur.

b. Pengolahan Limbah Padat

1) Limbah domestik dan kantor

Pengolahan limbah padat mengacu pada SNI 19-2454-2002 tentang tata cara teknik operasional pengelolaan sampah.

a) Pola Pewadahan

Pewadahan sampah dilakukan sesuai dengan jenis sampah yang telah terpilah, yaitu:



- Sampah anorganik, seperti gelas, plastik, logam, dan lainnya. dengan warna-warna terang
- Sampah organik, seperti daun, sayuran, kulit buah lunak, dan sisa makanan dengan warna gelap
- Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dengan warna merah yang diberi lambang khusus

b) Kriteria Lokasi dan Pewadahan

Lokasi penempatan wadah sebagai berikut:

- Wadah individual ditempatkan di halaman muka dan halaman belakang sumber sampah
- Wadah komunal ditempatkan di lokasi yang dekat dengan sumber sampah, tidak mengambil lahan trotoar, dan tidak mengganggu pemakai jalan atau sarana umum lainnya

c) Pola Pengumpulan Sampah

Pengumpulan sampah dilakukan 1-2 hari atau maksimal tiga hari sekali tergantung dari kondisi komposisi sampah. Semakin besar persentase sampah organik, periodisasi pengambilan maksimal satu kali dalam sehari. Periode pengumpulan sampah kering disesuaikan dengan jadwal yang telah ditentukan dan dapat dilakukan lebih dari tiga hari sekali. Sampah B3 disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku yaitu, mempunyai daerah pelayanan tertentu dan tetap, mempunyai petugas pelaksana yang tetap dan dipindahkan secara periodik, serta pembebasan pekerjaan

diusahakan merata dengan kriteria jumlah sampah terangkut, jarak tempuh, dan kondisi daerah.

d) Peralatan Pengangkut Sampah

Peralatan pengangkut sampah harus dilengkapi dengan penutup sampah, minimal dengan jaring. Tinggi bak maksimum 1,6 meter dan sebaiknya ada alat angkut. Kapasitas disesuaikan dengan kelas jalan yang akan dilalui. Bak truk/dasar kontainer sebaiknya dilengkapi pengaman air sampah.

e) Teknik Pengolahan Sampah

Pengomposan berdasarkan proses (alami, biologis dengan cacing, biologis dengan organisme tambahan). Daur ulang disesuaikan jenis sampah organik maupun non-organik. Pengurangan volume dengan pencacahan serta biogasifikasi atau pemanfaatan energi hasil pengolahan sampah.

f) Pemilihan Lokasi TPA

g) Metode pembuangan akhir sampah dilakukan dengan cara penimbunan terkendali termasuk pengolahan lindi dan gas. Lahan urug saniter termasuk pengolahan lindi dan gas. Metode penimbunan sampah untuk daerah pasang surut dengan sistem kolam (anaerob, fakultatif, dan maturasi).

2) Pengolahan bahan buangan gas

Limbah gas yang dihasilkan berasal dari gas hasil pembakaran bahan bakar boiler yang berupa gas CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>. Penanganan

terhadap limbah gas tersebut dilakukan dengan cara pembuatan stack atau cerobong asap dengan ketinggian tertentu. Cerobong asap berfungsi untuk menarik keluar udara dari proses pembakaran serta menguraikan polutan yang terkandung dalam gas buang menuju wilayah yang lebih luas.

## **5.6. Spesifikasi Alat Unit Utilitas**

### **1. Bak Pengendapan Awal (BU-01)**

Fungsi: Mengendapkan partikel berukuran besar yang terlarut dalam air

Spesifikasi:

Volume = 3,25 m<sup>3</sup>

Panjang = 1,47 m

Lebar = 0,74 m

Tinggi = 3 m

### **2. Tangki Penyimpanan Tawas (TU-01)**

Fungsi: Melarutkan dan membuat larutan tawas dengan konsentrasi 5%

Spesifikasi:

Volume = 0,49 m<sup>3</sup>

Diameter = 0,678 m

Tinggi = 1,357 m

### **3. Tangki Penyimpanan Kapur (TU-02)**

Fungsi: Melarutkan dan membuat larutan kapur 5% yang akan diumpahkan ke dalam flokulator

Spesifikasi:

Volume = 1,007 m<sup>3</sup>

Diameter = 0,862 m

Tinggi = 1,725 m

#### **4. Flokulator (FL-01)**

Fungsi: Sebagai tempat pencampuran air yang berasal dari bak penampung awal dengan Ca(OH)<sub>2</sub> serta koagulan tawas

Spesifikasi

Volume = 0,817 m<sup>3</sup>/jam

Diameter = 0,804 m

Tinggi = 1,609 m

#### **5. Clarifier (CL-01)**

Fungsi: Mengendapkan partikel berukuran besar yang terlarut dalam air

Spesifikasi:

Volume = 2,09 m<sup>3</sup>

Diameter = 1,66 m

Lebar = 0,83 m

Tinggi = 0,415 m

#### **6. Filter**

Fungsi: Menyaring partikel-partikel halus (kotoran yang masih tersisa (belum mengendap) dalam clarifier.

Spesifikasi:

Volume = 1,16 m<sup>3</sup>

Panjang = 0,7047 m

Lebar = 0,3524 m

#### **7. Tangki Penyimpanan Chlorine/Kapur (TU-03)**

Fungsi: Menampung larutan klorin dengan konsentrasi 2% yang digunakan sebagai desinfektan

Spesifikasi:

Volume = 1,007 m<sup>3</sup>

Diameter = 0,862 m

Tinggi = 1,725 m

#### **8. Bak Chlorinasi (BU-02)**

Fungsi: Menampung air bersih berasal dari saringan pasir dan tempat penambahan kaporit

Spesifikasi:

Volume = 3,26 m<sup>3</sup>

Panjang = 1,143 m

Lebar = 0,571 m

Tinggi = 5 m

#### **9. Tangki Penyimpanan Air Konsumsi dan Sanitasi (TU-04)**

Fungsi: Menampung air bersih untuk konsumsi dan sanitasi

Spesifikasi:

Volume = 5,802 m<sup>3</sup>

Diameter = 1,546 m

Tinggi = 3,092 m

### **10. Bak Penampung Air Pendingin (BU-03)**

Fungsi: Menampung air pendingin yang berasal dari proses

Spesifikasi:

Volume = 0,42 m<sup>3</sup>

Panjang = 0,41 m

Lebar = 0,2 m

Tinggi = 5 m

### **11. Cooling Tower (CT-01)**

Fungsi: Mendinginkan kembali air pendingin supaya dapat digunakan kembali

Spesifikasi:

Volume = 0,527 m<sup>3</sup>

Panjang = 0,3048 m

Lebar = 0,3048 m

### **12. Tangki Penyimpanan Air Demin Pendingin (TU-05)**

Fungsi: Menampung air demin untuk pendingin proses

Spesifikasi:

Volume = 0,053 m<sup>3</sup>

Diameter = 0,323 m

Tinggi = 0,646 m

### **13. Tangki Kondensat (TU-06)**

Fungsi: Menyimpan air umpan boiler selama 1 jam

Spesifikasi:

Volume = 4,651 m<sup>3</sup>

Diameter = 1,504 m

Tinggi = 3,009 m

#### **14. Boiler (B-01)**

Fungsi: Menguapkan air steam menjadi umpan heater

Spesifikasi:

Volume = 37,223 m<sup>3</sup>

Diameter = 3,6195 m

Tinggi = 3,6195 m

Ud = 297,551 Btu/jam

Uc = 2772,129 Btu/jam

Rd = 0,00336

#### **15. Tangki Bahan Bakar HSD (TB-01)**

Fungsi: Menyimpan bahan bakar untuk keperluan utilitas listrik

Spesifikasi:

Volume = 27,028 m<sup>3</sup>

Diameter = 3,048 m

Tinggi = 3,6576 m

## 16. Pompa

Tabel 5. 5. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-01 - PU-03)

Kode	PU-01	PU-02	PU-03
Tugas	Mengalirkan air dari sungai menuju BU-01	Memompa air dari BU-01 menuju flokulator	Memompa air dari TU-01 menuju flokulator
Tipe	<i>centrifugal pump single stage</i>	<i>centrifugal pump single stage</i>	<i>centrifugal pump single stage</i>
Jumlah	1	1	1
Bahan konstruksi	Commercial steel	Commercial steel	Commercial steel
Kapasitas (gpm)	2,001	2,459	0,004
Power Pompa (HP)	3	3/4	1/20
Power Motor (HP)	4	1	1/12
Efisiensi Pompa	60%	62%	38%
Efisiensi Motor	82%	80%	80%
NPSH required (ft)	0,450		0,00
NPSH available (ft)	8,850	29,83	44,60
	<b>Dimensi</b>		
IPS	3,00	3,00	1/4
SN	40	40	40
ID pipa	(in) 3,07	3,07	0,36
OD pipa	(in) 3,50	3,50	0,54
flow area	(in <sup>2</sup> ) 7,38	7,38	0,10



Tabel 5. 6. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-04 - PU-06)

Kode	PU-04	PU-05	PU-06
Tugas	Memompa air dari TU-02 menuju flokulator	Memompa air dari flokulator menuju clarifier	Mengalirkan air dari BU-02 menuju TU-04
Tipe	<i>centrifugal pump single stage</i>	<i>centrifugal pump single stage</i>	<i>centrifugal pump single stage</i>
Jumlah	1	1	1
Bahan konstruksi	Commercial steel	Commercial steel	Commercial steel
Kapasitas (gpm)	0,008	2,459	2,464
Power Pompa (HP)	1/20	3/4	1/2
Power Motor (HP)	1/12	1	3/4
Efisiensi Pompa	38%	62%	62%
Efisiensi Motor	80%	80%	80%
NPSH required (ft)	0,00	0,52	0,52
NPSH available (ft)	47,88	33,24	30,52
	<b>Dimensi</b>		
IPS	0,25	4,00	4,00
SN	40	40	40
ID pipa	(in)	0,36	4,03
OD pipa	(in)	0,54	4,50
flow area	(in <sup>2</sup> )	0,10	12,70

Tabel 5. 7. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-07 - PU-09)

Kode	PU-07	PU-08	PU-9
Tugas	Mengalirkan air dari BU-03 menuju CT-01	Mengalirkan air dari CT-01 menuju TU-06	Mengalirkan Air dari Tangki Kondensat menuju Bak Penampung
Tipe	<i>centrifugal pump single stage</i>	<i>centrifugal pump single stage</i>	<i>centrifugal pump single stage</i>
Jumlah	1	1	1
Bahan konstuksi	Commercial steel	Commercial steel	Commercial steel
Kapasitas (gpm)	1,078	1,487	2,833
Power Pompa (HP)	1/4	1/2	1/2
Power Motor (HP)	1/2	3/4	3/4
Efisiensi Pompa	61%	62%	38%
Efisiensi Motor	80%	80%	80%
NPSH required (ft)	29,83	0,34	0,52
NPSH available (ft)	29,83	31,47	29,24
	<b>Dimensi</b>	<b>Dimensi</b>	<b>Dimensi</b>
IPS	3,00	4,00	0,38
SN	40	40	40
ID pipa	(in) 3,07	4,03	0,40
OD pipa	(in) 3,50	4,50	0,68
flow area	(in <sup>2</sup> ) 7,38	12,70	0,19

## **BAB VI**

### **EVALUASI EKONOMI**

Dalam kelayakan dalam pendirian pabrik ditinjau dari Analisa ekonomi yang menentukan pabrik. Dengan meninjau analisa ekonomi dalam modal investasi, besar keuntungan yang diperoleh, dan lamanya modal yang di kembalikan maka, dalam penentuan evaluasi ekonomi beberapa faktor yang dapat ditinjau yaitu:

1. *Return On Investment (ROI)*

*Return On Investment* merupakan metrik yang digunakan untuk mengukur efisiensi atau keuntungan yang dihasilkan dari suatu investasi. ROI menggambarkan persentase keuntungan bersih yang diperoleh dibandingkan dengan jumlah investasi awal yang dilakukan.

2. *Pay Out Time (POT)*

*Pay Out Time* berfungsi untuk mengukur waktu yang diperlukan untuk mendapatkan kembali investasi awal yang telah dilakukan.

3. *Break Even Point (BEP)*

*Break Even Point* adalah titik impas dimana tidak mempunyai suatu keuntungan. Total biaya pendapatan pabrik dan total biaya produksi pabrik hasilnya sama yang dimana tidak memiliki kerugian dan keuntungan.

4. *Discounted Cash Flow Rate (DCFR)*

Analisis kelayakan ekonomi dengan menggunakan “*Discounted Cash Flow*” merupakan perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahun didasarkan pada

jumlah investasi yang tidak kembali pada setiap tahun selama umur ekonomi. *Rated of return based on discounted cash flow* adalah laju bunga maksimal di mana suatu pabrik atau proyek dapat membayar pinjaman beserta bunganya kepada bank selama umur pabrik. Pasasa

#### 5. *Shut Down Point (SDP)*

Suatu titik atau saat penentuan suatu aktivitas produksi dihentikan. Penyebabnya antara lain Variable Cost yang terlalu tinggi, atau bisa juga karena keputusan manajemen akibat tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi (tidak menghasilkan profit). Terdapat beberapa analisa yang perlu dilakukan sebelum melakukan estimasi profitabilitas dari suatu rancangan pabrik

Sebelum dilakukan analisa terhadap kelima faktor diatas maka perlu dilakukan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penentuan modal industri (*Total Capital Investment*)
  - a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
  - b. Modal kerja (*Working Capital Investment*)
2. Penentuan biaya produksi total (*Total Production Cost*)
  - a. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*)
  - b. Biaya pengeluaran umum (*General Expenses*)
3. Pendapatan modal Untuk mengetahui titik impas, maka dilakukan perkiraan:
  - a. Biaya tetap (*Fixed Cost*)
  - b. Biaya variabel (*Variable Cost*)
  - c. Biaya mengambang (*Regulated Cost*)

## 6.1. Penaksiran Harga Alat

Harga peralatan selalu berubah karena kondisi ekonomi yang mempengaruhinya. Oleh karena itu, sangat sulit untuk mengetahui harga peralatan yang pasti setiap tahun, sehingga diperlukan strategi untuk memperkirakan harga peralatan pada tahun tertentu, dengan mengetahui terlebih dahulu harga indeks peralatan operasi pada tahun tersebut.

Pabrik DIBK beroperasi dalam satu tahun produksi yaitu 330 hari dan tahun evaluasi pada tahun 2031. Di dalam analisa ekonomi harga-harga alat maupun harga-harga lain diperhitungkan pada tahun analisa. Untuk mencari harga pada tahun analisa, maka dicari indeks pada tahun analisa. Harga indeks tahun 2029 diperkirakan secara garis besar dengan data indeks dari tahun 1963 sampai 2015, dicari dengan persamaan regresi linier.

*Tabel 6. 1. Index Harga Alat*

<b>Tahun (X)</b>	<b>Index (Y)</b>	<b>Tahun ke- (X)</b>
1963	102.40	1
1964	103.30	2
1965	104.20	3
1966	107.20	4
1967	109.70	5
1968	113.70	6
1969	119.00	7
1970	125.70	8
1971	132.30	9
1972	137.20	10
1973	144.10	11
1974	165.40	12
1975	182.40	13
1976	192.10	14
1977	204.10	15
1978	218.80	16

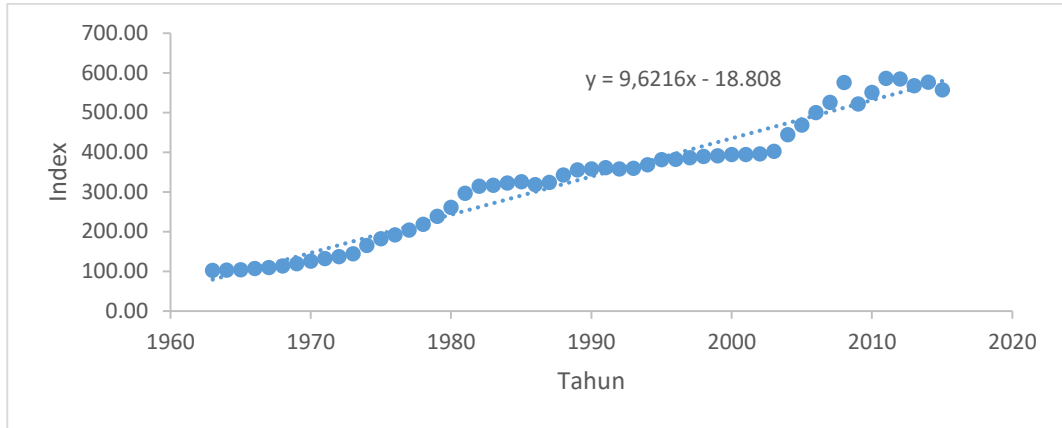
Tabel 6. 2. Index Harga Alat (Lanjutan)

Tahun (X)	Index (Y)	Tahun ke- (X)
1979	238.70	17
1980	261.20	18
1981	297.00	19
1982	314.00	20
1983	317.00	21
1984	322.70	22
1985	325.30	23
1986	318.40	24
1987	323.80	25
1988	342.50	26
1989	355.40	27
1990	357.60	28
1991	361.30	29
1992	358.20	30
1993	359.20	31
1994	368.10	32
1995	381.10	33
1996	381.70	34
1997	386.50	35
1998	389.50	36
1999	390.60	37
2000	394.10	38
2001	394.30	39
2002	395.60	40
2003	402.00	41
2004	444.20	42
2005	468.20	43
2006	499.60	44
2007	525.40	45
2008	575.40	46
2009	521.40	47
2010	550.80	48
2011	585.70	49
2012	584.60	50
2013	567.30	51
2014	576.10	52
2015	556.80	53

(Sumber: [www.chemengonline.com/pci](http://www.chemengonline.com/pci))

Grafik hubungan antara indeks harga dengan tahun ditunjukkan pada

Gambar 6.1.



Gambar 6. 1. Grafik Hubunga Antara Indeks Harga Alat Dengan Tahun

Persamaan yang diperoleh adalah:  $y = 9,6216x - 18.808$  (28)

Dengan menggunakan persamaan diatas dapat dicari harga indeks pada tahun perancangan, sehingga indeks pada tahun 2029 sebesar = 714.2264 Harga-harga alat lainnya diperhitungkan pada tahun evaluasi.

Maka harga alat pada tahun evaluasi dapat dicari dengan persamaan:

$$E_x = E_y \cdot \frac{N_x}{N_y} \quad (29)$$

Dimana:

$E_x$  = Harga alat pada tahun x

$E_y$  = Harga alat pada tahun y

$N_x$  = indeks harga pada tahun y (Aries dan Newton, 1955)

Tabel 6. 3. Harga Alat Unit Proses

Kode alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
		2014	2029	2014	2029
T-01	1	576,10	714,23	\$228.200,00	\$282.913,50
T-02	1	576,10	714,23	\$204.300,00	\$253.283,20
T-03	1	576,10	714,23	\$128.500,00	\$159.309,31
V-01	1	576,10	714,23	\$18.000,00	\$22.315,70
R-01	1	576,10	714,23	\$106.728,90	\$132.318,34
R-02	1	576,10	714,23	\$80.816,30	\$100.192,91
MD-01	1	576,10	714,23	\$49.300,00	\$61.120,22
MD-02	1	576,10	714,23	\$49.800,00	\$61.740,11
P-01	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
P-02	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
P-03	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
P-04	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
P-05	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
P-06	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
P-07	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
P-08	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
P-09	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
P-10	1	576,10	714,23	\$7.000,00	\$7.000,00
HE-01	1	576,10	714,23	\$10.100,00	\$12.521,59
HE-02	1	576,10	714,23	\$11.600,00	\$14.381,23
HE-03	1	576,10	714,23	\$10.100,00	\$12.521,59
HE-04	1	576,10	714,23	\$10.100,00	\$12.521,59
HE-05	1	576,10	714,23	\$10.100,00	\$12.521,59
CD-01	1	576,10	714,23	\$8.300,00	\$10.290,02
CD-02	1	576,10	714,23	\$8.300,00	\$10.290,02
<b>Total</b>				<b>\$1.004.245,20</b>	<b>\$1.228.240,91</b>



Tabel 6. 4. Harga Alat Unit Utilitas

Kode alat	Jumlah	NY	NX	EY	EX
		2014	2029	2014	2029
<i>PU-01</i>	1	585,70	714,226	\$8.500,00	\$10.365,25
<i>PU-02</i>	1	585,70	714,226	\$5.277,78	\$6.435,94
<i>PU-03</i>	1	585,70	714,226	\$5.000,00	\$6.097,20
<i>PU-04</i>	1	585,70	714,226	\$5.000,00	\$6.097,20
<i>PU-05</i>	1	585,70	714,226	\$5.277,78	\$6.435,94
<i>PU-06</i>	1	585,70	714,226	\$5.666,00	\$6.909,35
<i>PU-07</i>	1	585,70	714,226	\$5.133,00	\$6.259,39
<i>PU-08</i>	1	585,70	714,226	\$5.666,00	\$6.909,35
<i>PU-09</i>	2	585,70	714,226	\$5.666,00	\$13.818,70
<i>SP-01</i>	1	585,70	714,226	\$1.000,00	\$1.219,44
<i>BU-01</i>	1	585,70	714,226	\$5,38	\$6,56
<i>BU-02</i>	1	585,70	714,226	\$5,40	\$6,59
<i>BU-03</i>	1	585,70	714,226	\$1,05	\$1,28
<i>TU-01</i>	1	585,70	714,226	\$8.750,00	\$10.670,11
<i>TU-02</i>	1	585,70	714,226	\$9.000,00	\$10.974,97
<i>TU-03</i>	1	585,70	714,226	\$9.000,00	\$10.974,97
<i>TU-04</i>	1	585,70	714,226	\$10.100,00	\$12.316,35
<i>TU-05</i>	1	585,70	714,226	\$8.750,00	\$10.670,11
<i>TU-06</i>	2	585,70	714,226	\$9.700,00	\$23.657,15
<i>FL-01</i>	1	585,70	714,226	\$17.500,00	\$21.340,21
<i>CL-01</i>	1	585,70	714,226	\$2.780,00	\$3.390,05
<i>CT-01</i>	1	585,70	714,226	\$350,00	\$426,80
<i>TB-07</i>	1	585,70	714,226	\$14.300,00	\$17.438,00
<i>Filter</i>	1	585,70	714,226	\$3.000,00	\$3.658,32
<i>B-01</i>	1	585,70	714,226	\$4.300,00	\$4.300,00
<b>Total</b>				<b>\$149.728,39</b>	<b>\$200.379,22</b>

## 6.2. Dasar Perhitungan

Dasar perhitungan yang digunakan dalam analisi ekonomi pabrik DIBK

ini adalah:

1. Kapasitas produksi = 15.000 Ton/Tahun
2. Satu tahun operasi = 330 Hari

3. Tahun pabrik didirikan = 2029
4. Nilai kurs mata uang = \$ 1 = Rp 14.919,
5. Umur alat = 10 tahun

### **6.3. Perhitungan Biaya**

#### ***6.3.1. Capital Investment***

Capital Investment adalah banyaknya pengeluaran pengeluaran yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik dan untuk mengoperasikannya.

Capital investment terdiri dari:

*a. Fixed Capital Investment*

*Fixed Capital Investment* adalah biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik.

*b. Working Capital Investment*

*Working Capital Investment* adalah biaya yang diperlukan untuk menjalankan usaha atau modal untuk menjalankan operasi dari suatu pabrik selama waktu tertentu.

#### **6.3.2. Manufacturing Costs**

Manufacturing Cost merupakan jumlah Direct, Indirect dan Fixed Manufacturing Cost, yang bersangkutan dalam pembuatan produk. Setelah melakukan perhitungan rencana, pabrik DIBK ini memerlukan rencana direct plant cost, indirect plant cost, dan fixed capital instrument.

a. *Direct Cost*

*Direct Cost* adalah pengeluaran yang berkaitan langsung dengan pembuatan produk.

b. *Indirect Cost*

*Indirect Cost* adalah pengeluaran-pengeluaran sebagai akibat tidak langsung karena operasi pabrik.

c. *Fixed Cost*

*Fixed Cost* adalah biaya-biaya tertentu yang selalu dikeluarkan baik pada saat pabrik beroperasi maupun tidak atau pengeluaran yang bersifat tetap tidak tergantung waktu dan tingkat produksi.

### **6.3.3. General Expense**

*General Expense* atau pengeluaran umum meliputi pengeluaran-pengeluaran yang berkaitan dengan fungsi perusahaan yang tidak termasuk Manufacturing Cost.

## **6.4. Analisa Kelayakan**

### **6.4.1. Return on Investment (ROI)**

*Return On Investment* adalah tingkat keuntungan yang dapat dihasilkan dari tingkat investasi yang dikeluarkan.

$$ROI = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\% \quad (30)$$

#### **6.4.2. Pay Out Time (POT)**

*Pay Out Time (POT)* adalah:

- a. Jumlah tahun yang telah berselang, sebelum didapatkan suatu penerimaan yang melebihi investasi awal atau jumlah tahun yang diperlukan untuk kembalinya Capital Investment dengan profit sebelum dikurangi depresiasi.
- b. Waktu minimum teoritis yang dibutuhkan untuk pengembalian modal tetap yang ditanamkan atas dasar keuntungan setiap tahun ditambah dengan penyusutan.
- c. Waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang diperoleh. Perhitungan ini diperlukan untuk mengetahui dalam berapa tahun investasi yang telah dilakukan akan kembali.

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{(\text{Keuntungan Tahunan} + \text{Depresiasi})} \quad (31)$$

#### **6.4.3. Break Even Point (BEP)**

*Break Even Point (BEP)* adalah:

- a. Titik impas produksi (suatu kondisi dimana pabrik tidak mendapatkan keuntungan maupun kerugian).
- b. Titik yang menunjukkan pada tingkat berapa biaya dan penghasilan jumlahnya sama. Dengan BEP kita dapat menentukan harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum dan berapa harga serta unit penjualan yang harus dicapai agar mendapat keuntungan.

- c. Kapasitas produksi pada saat sales sama dengan total cost. Pabrik akan rugi jika beroperasi di bawah BEP dan akan untung jika beroperasi di atas BEP.

$$BEP = \frac{(Fa + 0,3Ra)}{(Sa - Va - 0,7Ra)} \times 100\% \quad (32)$$

Dimana:

- Fa = Annual Fixed Manufacturing Cost pada produksi maksimum  
Ra = Annual Regulated Expenses pada produksi maksimum  
Va = Annual Variable Value pada produksi maksimum  
Sa = Annual Sales Value pada produksi maksimum

#### **6.4.4. Shut Down Point (SDP)**

*Shut Down Point (SDP)* adalah:

- a. Suatu titik atau saat penentuan suatu aktivitas produksi dihentikan. Penyebabnya antara lain Variable Cost yang terlalu tinggi, atau bisa juga karena keputusan manajemen akibat tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi (tidak menghasilkan profit).
- b. Persen kapasitas minimal suatu pabrik dapat mencapai kapasitas produk yang diharapkan dalam setahun. Apabila tidak mampu mencapai persen minimal kapasitas tersebut dalam satu tahun maka pabrik harus berhenti beroperasi atau tutup.
- c. Level produksi di mana biaya untuk melanjutkan operasi pabrik akan lebih mahal daripada biaya untuk menutup pabrik dan membayar *Fixed Cost*.

- d. Merupakan titik produksi dimana pabrik mengalami kebangkrutan sehingga pabrik harus berhenti atau tutup.

#### 6.4.5. *Discounted Cash Flow Rate Of Return (DCFR)*

*Discounted Cash Flow Rate Of Return (DCFR)* adalah:

- a. Analisa kelayakan ekonomi dengan menggunakan DCFR dibuat dengan menggunakan nilai uang yang berubah terhadap waktu dan dirasakan atau investasi yang tidak kembali pada akhir tahun selama umur pabrik.
- b. Laju bunga maksimal dimana suatu proyek dapat membayar pinjaman beserta bunganya kepada bank selama umur pabrik.
- c. Merupakan besarnya perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahun, didasarkan atas investasi yang tidak kembali pada setiap akhir tahun selama umur pabrik.

Persamaan untuk menentukan DCFR:

$$(FC + WC)(1 + i)^N = C \sum_{n=0}^{n=N-1} (1 + i)^n + WC + SV \quad (33)$$

Dimana:

FC = *Fixed capital*

WC = *Working capital*

SV = *Salvage value*

C = *Cash flow: profit after taxes + depresiasi + finance*

N = Umur pabrik = 10 tahun

I = Nilai DCFR

## 6.5. Hasil Perhitungan

### 6.5.1. Capital Investment

#### a. Fixed Capital Investment

Tabel 6. 5. Fixed Capital Investment (FCI)

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Purchased Equipment cost</i>	Rp21.959.320.018,05	\$1.428.620,13
2	<i>Delivered Equipment Cost</i>	Rp5.489.830.004,51	\$357.155,03
3	<i>Instalasi cost</i>	Rp3.635.475.361,31	\$236.515,21
4	<i>Pemipaan</i>	Rp12.170.634.180,56	\$791.791,96
5	<i>Instrumentasi</i>	Rp5.498.977.459,21	\$357.750,14
6	<i>Insulasi</i>	Rp849.396.812,94	\$55.259,70
7	<i>Listrik</i>	Rp2.195.932.001,81	\$142.862,01
8	<i>Bangunan</i>	Rp412.500.000.000,00	\$26.836.250,08
9	<i>Land &amp; Yard Improvement</i>	Rp275.400.000.000,00	\$17.916.856,42
10	<i>Engineering and Construstion</i>	Rp147.939.913.167,68	\$9.624.612,14
11	<i>Cotractor's fee</i>	Rp35.505.579.160,24	\$2.309.906,91
12	<i>Contingency</i>	Rp221.909.869.751,52	\$14.436.918,21
<b>Jumlah</b>		<b>Rp1.145.054.927.917,82</b>	<b>\$74.494.497,95</b>

#### b. Working Capital Investment

Tabel 6. 6. Working Capital Investment (WCI)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material Inventory</i>	Rp5.718.092.565.034,80	\$372.005.241,37
2	<i>Inproses Onventory</i>	Rp8.229.032.233.600,68	\$535.360.889,57
3	<i>Product Inventory</i>	Rp35.267.281.001.145,80	\$2.294.403.812,45
4	<i>Extended Credit</i>	Rp34.727.302.658.378,40	\$2.259.274.130,40
5	<i>Available Cash</i>	Rp35.267.281.001.145,80	\$2.294.403.812,45
<b>Jumlah</b>		<b>Rp119.208.989.459.305,00</b>	<b>\$7.755.447.886,23</b>

## 6.5.2. Manufacturing Costs

Tabel 6. 7. Direct Manufacturing Cost (DMC)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Raw Material	Rp134.783.610.461.534,00	\$8.768.694.975,05
2	Labor	Rp1.658.300.000,00	\$107.884,98
3	Supervision	Rp165.830.000,00	\$10.788,50
4	Maintenance	Rp68.703.295.675,07	\$4.469.669,88
5	Plant Supplies	Rp10.305.494.351,26	\$670.450,48
6	Royalty and Patents	Rp11.460.009.877.264,90	\$745.560.463,03
7	Utilities	Rp184.176.938.051.103,00	\$11.982.105.136,37
<b>Jumlah</b>		<b>Rp330.501.391.309.929,00</b>	<b>\$21.501.619.368,29</b>

Tabel 6. 8. Indirect Manufacturing Cost (IMC)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Payroll Overhead	Rp248.745.000,00	\$16.182,75
2	Laboratory	Rp165.830.000,00	\$10.788,50
3	Plant Overhead	Rp829.150.000,00	\$53.942,49
4	Packaging and Shipping	Rp57.300.049.386.324,40	\$3.727.802.315,16
<b>Jumlah</b>		<b>Rp57.301.293.111.324,40</b>	<b>\$3.727.883.228,89</b>

Tabel 6. 9. Fixed Manufacturing Cost (FMC)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Depreciation	Rp114.505.492.791,78	\$7.449.449,79
2	Property taxes	Rp11.450.549.279,18	\$744.944,98
3	Insurance	Rp11.450.549.279,18	\$744.944,98
<b>Jumlah</b>		<b>Rp137.406.591.350,14</b>	<b>\$8.939.339,75</b>

Tabel 6. 10. Manufacturing Cost (MC)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Direct Manufacturing Cost (DMC)	Rp330.501.391.309.929,00	\$21.501.619.368,29
2	Indirect Manufacturing Cost (IMC)	Rp57.301.293.111.324,40	\$3.727.883.228,89
3	Fixed Manufacturing Cost (FMC)	Rp137.406.591.350,14	\$8.939.339,75
<b>Jumlah</b>		<b>Rp387.940.091.012.603,00</b>	<b>\$25.238.441.936,93</b>



### 6.5.3. General Expense

Tabel 6. 11. General Expenses (GE)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Administration	Rp11.638.202.730.378,10	\$757.153.258,11
2	Sales Expense	Rp19.397.004.550.630,20	\$1.261.922.096,85
3	Research	Rp13.577.903.185.441,10	\$883.345.467,79
4	Finance	Rp2.407.080.887.744,46	\$156.598.847,68
<b>General Expenses(GE)</b>		<b>Rp47.020.191.354.193,80</b>	<b>\$3.059.019.670,43</b>

### 6.6. Analisa Keuntungan

Tabel 6. 12. Total Production Cost (TPC)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Manufacturing Cost (MC)	Rp387.940.091.012.603,00	\$25.238.441.936,93
2	General Expenses(GE)	Rp47.020.191.354.193,80	\$3.059.019.670,43
<b>Jumlah</b>		<b>Rp434.960.282.366.797,0</b>	<b>\$28.297.461.607,36</b>

Total penjualan = Rp1.146.000.987.726.490,00

Total Production cost = Rp434.960.282.366.797,00

Keuntungan sebelum pajak = Rp711.040.705.359.690,000

Pajak (30 % dari keuntungan) = Rp213.312.211.607.907,00

Keuntungan setelah pajak = Rp497.728.493.751.783,00

### 6.7. Analisa Kelayakan

#### a. RETURN ON INVESTMENT (ROI)

ROI sebelum pajak = 62.05%

ROI setelah pajak = 43.43%

**b. PAY OUT TIME (POT)**

POT sebelum pajak = 1.61 Tahun

POT setelah pajak = 2.30 Tahun

**c. BREAK EVEN POINT (BEP)**

*Tabel 6. 13. Annual Fixed Cost (Fa)*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Depresiasi	Rp114.505.492.791,78	\$7.449.449,79
2	Proerty Taxes	Rp11.450.549.279,18	\$744.944,98
3	Asuransi	Rp11.450.549.279,18	\$744.944,98
<b>Jumlah</b>		<b>Rp137.406.591.350,14</b>	<b>\$8.939.339,75</b>

*Tabel 6. 14. Regulated Cost (Ra)*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Gaji Karyawan	Rp205.622.566.800,00	\$13.377.305,76
2	Payroll Overhead	Rp2.570.282.085,00	\$167.216,32
3	Supervision	Rp1.713.521.390,00	\$111.477,55
4	Plant Overhead	Rp8.567.606.950,00	\$557.387,74
5	Laboratorium	Rp1.713.521.390,00	\$111.477,55
6	General Expense	Rp485.859.637.262.885,00	\$31.608.850.254,56
7	Maintenance	Rp709.911.154.210,49	\$46.185.098,84
8	Plant Supplies	Rp106.486.673.131,57	\$6.927.764,83
<b>Jumlah</b>		<b>Rp486.896.222.588.842,00</b>	<b>\$31.669.360.218,31</b>

*Tabel 6. 15. Annual Variable Cost (Va)*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Raw Material	Rp134.783.610.461.534,00	\$8.768.694.975,05
2	Packaging and Shipping	Rp57.300.049.386.324,40	\$3.727.802.315,16
3	Utilities	Rp184.176.938.051.103	\$11.982.105.136,37
4	Royalty & Patent	Rp11.460.009.877.264,90	\$745.560.463,03
<b>Jumlah</b>		<b>Rp387.720.607.776.227,00</b>	<b>\$25.224.162.889,61</b>

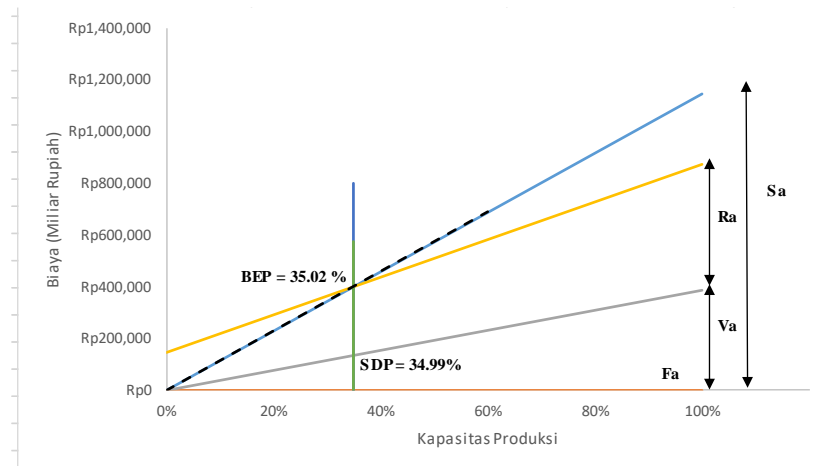
$$\text{Sales Cost (Sa)} = \text{Rp}1.146.000.987.726.490,00$$

$$\text{Break Even Point (BEP)} = 35,02 \%$$

**d. SHUT DOWN POINT (SDP) = 34,99 %**

**e. DISCOUNTED CASH FLOW RATE (DCFR) = 11.23 %**

Berdasarkan data-data diatas, maka dapat diketahui evaluasi resiko pabrik yang harus dicapai maupun dihindari, untuk lebih mudahnya dapat dilihat pada Gambar 6.2. Dengan begitu pabrik tidak akan mengalami kerugian dan proses produksi bisa terus berjalan



*Gambar 6. 2. Grafik Evaluasi Ekonomi*

## **BAB VII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **7.1.Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa, baik analisa ekonomi maupun teknik diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses mendirikan pabrik DIBK dengan kapasitas 15.000 ton/tahun untuk, memenuhi kebutuhan dalam negeri, menjadikan lapangan kerja baru, dan memajukan perkembangan industri.
2. Prarancangan pabrik DIBK dari aceton dengan kapasitas 15.000 ton/tahun ini tergolong sebagai pabrik dengan risiko rendah berdasarkan tinjauan proses, kondisi operasi, sifat-sifat bahan baku dan produk, serta regulasi pemerintah.
3. Pabrik DIBK dari aceton dan hidrogen berbentuk Perseroan Terbatas (PT) direncanakan akan dibangun di Desa Midugading, Kecamatan Tarik, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur dengan luas tanah keseluruhan 32.400 m<sup>2</sup> dan luas bangunan 27.500 m<sup>2</sup> . Dengan total karyawan sebanyak 210 orang dan beroperasi 330 hari/tahun.

4. Berdasarkan evaluasi ekonomi yang telah dilakukan, diperoleh bahwa:

*Tabel 7. 1. Kesimpulan Evaluasi Ekonomi*

<b>Kriteria</b>	<b>Terhitung</b>	<b>Persyaratan</b>	<b>Referensi</b>
ROI sebelum pajak	62.05	ROI before taxes	Aries Newton, P.193
ROI setelah pajak	43.43	minimum low 11 %, high 44%	
POT sebelum pajak	1.61	POT before taxes	Aries Newton, P.196
POT setelah pajak	2.30	maksimum, low 5 th, high 2th	
BEP	35.02%	kisaran 40-60%	
SDP	34.99%	> 20%	
DCFRR	11.23%	> 1,5 bunga bank = minimum	

## 7.2.Saran

Perancangan pabrik kimia memerlukan pemahaman konsep-konsep dasar dan didukung dengan referensi dan pranalar lain yang dapat meningkatkan kelayakan pendirian suatu pabrik kimia diantaranya sebagai berikut:

1. Optimasi pemilihan seperti alat proses, alat penunjang, dan bahan baku harus diperhatikan untuk mengoptimalkan keuntungan yang diperoleh.
2. Perancangan pabrik kimia tidak lepas dari produksi limbah, sehingga diharapkan bahwa limbah yang dihasilkan akan dikurangi sehingga lebih ramah lingkungan.
3. Produksi DIBK dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan masa depan yang terus meningkat dan mengurangi ketergantungan pada impor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Rabiah, A. A., Alkathiri, R. R., & Bagabas, A. (2022). *Process Development for Methyl Isobutyl Ketone Production Using the Low-Pressure One-Step Gas-Phase Selective Hydrogenation of Acetone*. Processes; Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Bassett, Mark, R. & Keen, Brian, T. (2020). EP1017661B1 - Manufacture Of Methyl Isobutyl And *Diisobutyl Ketone* - Google Patents.
- Block, T.J., Gamboa Palacios, S., Van Dril, A.W.N. (2020), Decarbonisation options for Large Volume Organic Chemical Production, Shell Pernis. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency and TNO EnergieTransitie, The Hague.
- Badan Pusat Statistik. (2018-2022). Ekspor dan Impor - HS Codes - Acyclic ketones without other oxygen function (29141990).
- Brownell, L. &. (1959). *Process Equipment Design: Vessel Design*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Chemi Care. (2014). [www.indiamart.com](http://www.indiamart.com).
- Eastman™ DIBK (*Diisobutyl Ketone*). (2021). [www.indiamart.com](http://www.indiamart.com).
- Himmelblau. (1996). *Basic Principles and calculations in Chemical Engineering* Prentice. Tokyo: -Hall International.
- Montgomery, D. C. (2010). *Statistical Quality Control: A Modern Introduction*, 6TH ED. John Wiley & Sons.

- Parejas, A., Cosano, D., Hidalgo-Carrillo, J., Ruiz, J. R., Marinas, A., Jiménez-Sanchidrián, C., & Urbano, F. J. (2019). Aldol Condensation of Furfural with Aceton Over Mg/Al Mixed Oxides. Influence of Water and Synthesis Method. Catalysts; Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Perry, R. d. (1950.). Perry's Chemical Engineer's Handbook. 3rd ed. Tokyo: . McGraw Hill Book Company. .
- Prasol Chemicals PVT. LTD. (2021). Executive Summary for Proposed Project for Manufacturing of Synthetic Organic Chemicals with total production capacity 57,500 TPA.
- Rosso, G. & Martins, W. (2010). US8809592B2 - Process for producing DIBK - Google Patents.
- Sawrey, J. S. & Wegman, R. W. (2005). US7767863B2 - Method to make methyl isobutyl *ketone* and diisobutyl *ketone* - Google Patents.
- Sigma-Aldrich. (2023). Safety Data Sheet (SDS).
- Smith, J. M. (2005). Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. 7th edn. New York: McGraw-Hill Book Company.
- UNdata | record view | Trade of goods, US\$, HS, 29 Organic chemicals. (2018-2021.).
- Ulrich, G. (1984). A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. New York: John Wiley and Sons, .
- Yaws, C. L. (1999.). Chemical Properties Handbook,. USA: McGraw Hill Companies.

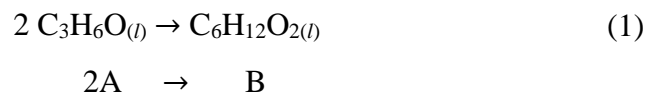
## LAMPIRAN A

### PERANCANGAN REAKTOR

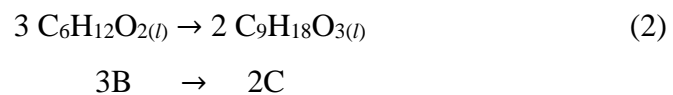
Kode	: R-01
Fase	: Cair-Gas
Fungsi	: Mereaksikan Aceton menjadi Triaceton Dialcohol dengan bantuan katalis Pd/Amberlyst 15
Jenis	: <i>Fixed Bed Multitube Reactor</i>
Bahan Konstruksi	: <i>Stainless Steel Tipe 304</i>
Kondisi Operasi	:
a. Suhu ruang	= 25°C
b. Suhu operasi	= 120 °C
c. Tekanan operasi	= 1 atm = 14,6959 psi
d. Konversi	= 0,6

Reaksi:

1) Reaksi 1



2) Reaksi 2





Dimana:

- A : Aceton  
 B : Diaceton Alcohol  
 C : Triaceton Dialcohol

### 1. Menentukan Yi

Komponen	BM	Arus 3				
		Mol%	Mole Flow (kmol/jam)	Mass Flow (kg/jam)	yi	Bmi x Yi
Aseton	58,08	0,990	76,963	4470,000	0,989973	57,497623
Hidrogen	2,03	0	0	0	0	0
DIBK	142,24	0	0	0	0	0
MIBK	100,16	0	0	0	0	0
Air	18,02	0,010	0,780	14,047	0,010027	0,180689
DAA	116,16	0	0	0	0	0
TDA	174,24	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		<b>1,00</b>	<b>77,74</b>	<b>4484,05</b>	<b>1,00</b>	<b>57,68</b>

### 2. Menentukan Z umpan Reaktor

Komponen	BM	yi	pc (bar)	Pc(Atm)	Tc(K)	w	Yi.BM	Yi.Pc	Yi.Tc	Yi.w
Aseton	58,08	0,990	47,020	46,405	508,200	0,306	57,498	45,940	503,104	0,303
Hidrogen	2,03	0,000	12,120	11,962	33,180	-0,220	0,000	0,000	0,000	0,000
DIBK	142,24	0,000	24,800	24,476	615,000	0,512	0,000	0,000	0,000	0,000
MIBK	100,16	0,000	32,730	32,302	571,400	0,389	0,000	0,000	0,000	0,000
Air	18,02	0,010	220,550	217,666	647,130	0,345	0,181	2,183	6,489	0,003
DAA	116,16	0,000	42,100	41,549	606,000	0,757	0,000	0,000	0,000	0,000
TDA	174,24	0,000	22,500	22,206	629,000	0,596	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Total</b>		<b>1,000</b>	<b>401,820</b>	<b>396,565</b>	<b>3609,910</b>	<b>2,685</b>	<b>57,678</b>	<b>48,122</b>	<b>509,593</b>	<b>0,306</b>

$$Tc \text{ Umpan} = 509,593 \text{ K}$$

$$Pc \text{ umpan} = 48,122 \text{ atm}$$

$$Tr = T/Tc \quad 0,77149793$$

$$Pr = P/Pc \quad 0,02078035$$

$$Pr/Tr = 0,026935069$$

$$B^n = \frac{BP_c}{RT_c} = B^0 + \omega B^1 \quad (3)$$

$$Z = 1 + \frac{BP}{RT} = 1 + B^n \frac{Pr}{Tr} \quad (4)$$

$$Z = 1 + \left(\frac{BP_c}{RT_c}\right) \left(\frac{Pr}{Tr}\right) \quad (5)$$

$$B^0 = 0,083 - \frac{0,422}{Tr^{1,6}} \quad (6)$$

$$B^1 = 0,139 - \frac{0,172}{Tr^{4,2}} \quad (7)$$

Komponen	yi	Tr	Pr	B0	B1	BPc/RTc	Pr/Tr	Z	Yi.Z
Aseton	0,990	0,774	0,022	-0,553	-0,367	-0,665	0,028	0,981	0,972
Hidrogen	0,000	11,849	0,084	0,075	0,139	0,044	0,007	1,000	0,000
DIBK	0,000	0,639	0,041	-0,780	-0,987	-1,286	0,064	0,918	0,000
MIBK	0,000	0,688	0,031	-0,685	-0,688	-0,952	0,045	0,957	0,000
Air	0,010	0,608	0,005	-0,854	-1,256	-1,287	0,008	0,990	0,010
DAA	0,000	0,649	0,024	-0,760	-0,920	-1,456	0,037	0,946	0,000
TDA	0,000	0,625	0,045	-0,812	-1,099	-1,467	0,072	0,894	0,000
<b>Total</b>	<b>1,000</b>	<b>15,831</b>	<b>0,251</b>	<b>-4,369</b>	<b>-5,177</b>	<b>-7,070</b>	<b>0,261</b>	<b>6,687</b>	<b>0,982</b>

### 3. Menentukan Volume Gas Masuk Reaktor

$$Vg = \frac{Z \cdot n \cdot R \cdot T}{P} \quad (8)$$

Dimana:

Vg = Laju alir volumetrik, cm<sup>3</sup>/dtk

n = mol umpan, mol/dtk

R = Konstanta gas, cm<sup>3</sup>.atm/gmol.K

T = temperatur, K

P = Tekanan, atm

Sehingga didapatkan hasil;

Z = 0,9816

n = 21,5951 mol/detik

T = 393,15 K

P = 1,00 atm

R = 82,05 cm<sup>3</sup>.atm/gmol.K

Vg = 683762,0518 cm<sup>3</sup>/detik = 0,6838 m<sup>3</sup>/detik

#### 4. Menentukan Densitas Umpan

$$\rho = \frac{P \cdot BM}{R \cdot T \cdot Z} \quad (9)$$

$$\rho = 0,1494656 \text{ gr/cm}^3 = 9413,0449 \text{ lb/ft}^3$$

#### 5. Menentukan Viskositas Umpan

$$\eta_{gas} = A + BT + CT^2 \quad (10)$$

T = 393,15 K

T<sup>2</sup> = 154566,9225 K

Komponen	yi	$\eta$ gas	$\eta$ gas	$\eta$ gas	$\eta$ gas
		mikropoise	(kg/s.m)	(kg/jam.m)	lb/ft.jam
Aseton	0,990	9,99E+01	9,99E-06	3,59E-02	8,70E-06
Hidrogen	0,000	1,09E+02	1,09E-05	3,91E-02	0,00E+00
DIBK	0,000	7,18E+01	7,18E-06	2,59E-02	6,26E-06
MIBK	0,000	8,29E+01	8,29E-06	2,98E-02	7,22E-06
Air	0,010	1,29E+02	1,29E-05	4,66E-02	1,13E-05
DAA	0,000	8,98E+01	8,98E-06	3,23E-02	7,82E-06
TDA	0,000	7,17E+01	7,17E-06	2,58E-02	6,24E-06
<b>Total</b>	<b>1,000</b>	<b>6,54E+02</b>	<b>6,54E-05</b>	<b>2,35E-01</b>	<b>4,75E-05</b>

Komponen	yi.η gas	yi.η gas	yi.η gas	yi.η gas
	(kg/jam.m)	lb/ft.jam	mikropoise	(kg/s.m)
Aseton	3,56E-02	8,61E-06	9,89E+01	9,89E-06
Hidrogen	0	0	0	0
DIBK	0	0	0	0
MIBK	0	0	0	0
Air	4,67E-04	1,13E-07	1,30E+00	1,30E-07
DAA	0	0	0	0
TDA	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>3,61E-02</b>	<b>8,73E-06</b>	<b>1,00E+02</b>	<b>1,00E-05</b>

$$\eta_{gas} = 1,0015E^{-05} \text{ kg/s.m}$$

$$1,0015E^{-04} \text{ gr/cm.s}$$

$$1,62E^{-04}$$

## 6. Menentukan Konduktivitas Umpan

$$k_{gas} = A + BT + CT^2 \quad (11)$$

$$T = 393,15 \text{ K}$$

$$T^2 = 154566,9225 \text{ K}$$

Komponen	yi	k <sub>gas</sub>	yi.k <sub>gas</sub>
		W/m.K	W/m.K
Aseton	0,989973	1,9104E-02	1,8912E-02
Hidrogen	0	2,1000E-01	0
DIBK	0	1,7593E-02	0
MIBK	0	1,9108E-02	0
Air	0,010027	2,6704E-02	2,6776E-04
DAA	0	1,7478E-02	0
TDA	0	1,4460E-02	0
<b>Total</b>	<b>1,000</b>	<b>0,3244472</b>	<b>0,0191799</b>

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kJ} &= 0,238846 \text{ kkal} \\
 k \text{ campuran} &= 0,0191799 \text{ W/m.K} \\
 &= 0,0690478 \text{ kJ/jam.m.K} \\
 &= 0,0164918 \text{ kkal/jam.m.K} \\
 &= 0,0000458 \text{ kal/dtk.cm.K}
 \end{aligned}$$

### 7. Menentukan Kapasitas Panas Gas Umpan

$$C_p = \int A + BT + CT^2 + DT^3 + DT^4 \quad (12)$$

Komponen	y <sub>i</sub>	BM	C <sub>p</sub>	C <sub>p</sub>	C <sub>p</sub>	C <sub>pi</sub> = y <sub>i</sub> .C <sub>p</sub>
		(kg/kmol)	J/mol.K	kJ/kmol.K	kJ/kg.K	kJ/kg.K
Aseton	0,989973	0,058	90,202	90,202	1553,058	1537,486
Hidrogen	0	0,002	29,102	29,102	14335,771	0
DIBK	0	0,142	268,451	268,451	1887,312	0
MIBK	0	0,100	181,326	181,326	1810,364	0
Air	0,010027	0,018	34,251	34,251	1900,708	19,059
DAA	0	0,116	196,232	196,232	1689,326	0
TDA	0	0,174	283,004	283,004	1624,221	0
<b>Total</b>	<b>1,000</b>	<b>0,611</b>	<b>1082,568</b>	<b>1082,568</b>	<b>24800,761</b>	<b>1556,544</b>

Komponen	F <sub>i</sub>	F <sub>i</sub> .C <sub>pi</sub>	C <sub>p</sub> .y <sub>i</sub>
	(kg/jam)	kJ/jam.K	kJ/kmol.K
Aseton	4470,000	6872561,167	89,297
Hidrogen	0	0	0
DIBK	0	0	0
MIBK	0	0	0
Air	14,047	267,721	0,343
DAA	0	0	0
TDA	0	0	0
<b>Total</b>	<b>4484,047</b>	<b>6872828,888</b>	<b>89,641</b>

$$\begin{aligned}
 C_p \text{ campuran} &= 89,641 \text{ Kjoule/kmol.K} \\
 &= 6872828,888 \text{ Kjoule/jam.K} \\
 &= 1556,544 \text{ kjoule/kg.K}
 \end{aligned}$$

## 8. Menentukan $\Delta HR$

$$T_{rev} = 298 \text{ K}$$

$$T = 393,15 \text{ K}$$

Komponen	$\Delta H_f$ (kJ/mol)	$\Delta H_f$ (kJ/kmol)	$\Delta H_f$ (KJ/mol)	$\Delta H_f$ (kJ/kmol)
Aseton	-217,57	-21757	-222,2495	-22224,9468
Hidrogen	0	0	0	0
DIBK	-357,60	-35760	115,4202	11542,0179
MIBK	-288,49	-28849	-294,6372	-29463,7177
Air	-241,80	-24180	-242,8010	-24280,0976
DAA	-545,80	-54580	-553,9470	-55394,7046
TDA	-560,20	-56020	-572,0792	-57207,9183
<b>Total</b>		<b>-165126,00</b>	<b>-1198,21</b>	<b>-119821,45</b>

Reaksi Pembentukan:



$$\Delta HR_{298} = \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta HR_{298} = -11066,0000 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta HR_{298} = 11066,0000 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_p = -55394,7046 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_r = -44449,8936 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta HR = -10944,8110 \text{ kJ/kmol}$$

-2614,124334 kkal/kmol

2614,1243 kkal/kmol

## 9. Katalisator

Katalis = Pd/Amberlyst15

Bentuk = Granule

Diameter = 0,73 cm

Void fraction = 0,8

Panjang = 0,7 cm

Densitas = 1,59 gr/cm<sup>3</sup>

Porositas = 0,51

Densitas bulk = 1,2 gr/ml

## 10. Menentukan Ukuran Tube

Diameter reaktor dipilih berdasarkan pertimbangan agar perpindahan panas berjalan dengan baik. Pengaruh rasio  $D_p/D_t$  terhadap koefisien perpindahan dalam pipa yang berisi serbuk katalisator di bandingkan dengan pipa kosong ( $hw/h$ ) yang telah diteliti oleh *Colburn's* yaitu:

$D_p/D_t$	0,05	0,10	<b>0,15</b>	0,20	0,25	0,30
$hw/h$	5,50	7,00	<b>7,80</b>	7,50	7,00	6,60

Dipilih  $D_p/D_t$  0,15 (Karena menghasilkan perpindahan panas yang paling besar) Dimana,

Jenis : Metal

Ukuran : D = 0,73 cm

$$L = 0,7 \text{ cm}$$

$$\text{Density} = 1,59 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Bulk density} = 1,2 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_p = 0,73 \text{ cm}$$

$$D_p/D_t = 0,15$$

$$D_t = 4,86667 \text{ cm} = 1,9160 \text{ in}$$

Jenis Tube	Steel Pipe					
IPS	2	in	5,08	cm	0,0508	m
OD	2,38	in	6,0452	cm	0,0605	m
ID	2,067	in	5,250	cm	0,0525	m
Flow area per tube	3,35	in <sup>2</sup>	21,61	cm <sup>2</sup>	0,0022	m <sup>2</sup>
Sc.Num	40	ft				
Surface per lin ft (Outside)	0,622	ft <sup>2</sup> /ft				
Surface per lin ft (Inside)	0,542	ft <sup>2</sup> /ft				

Aliran dalam pipa adalah aliran transisi, maka  $N_{re} = 4500$

$$N_{Re} = \frac{G_t \cdot D_t}{\mu} \quad (13)$$

$$N_{Re} = 4500 \quad (\text{Nilai } Re \text{ yg biasa dipakai di fase gas})$$

$$\mu = 0,03606 \text{ kg/m.jam}$$

$$D_t = 0,053 \text{ m}$$

$$G \text{ (umpan total)} = 4484,0472 \text{ kg/jam}$$

$$= 1245,568667 \text{ gr/detik}$$

$$G_t = \frac{\mu \cdot N_{Re}}{D_t} \quad (14)$$

$$G_t = 3090,3792 \text{ kg/m}^2.\text{jam} = 0,08584 \text{ g/cm}^2.\text{s}$$



$$At = \frac{G}{Gt} \quad (15)$$

$$At = 1,451 \text{ m}^2$$

$$Ao = \frac{\pi}{4} ID^2 \quad (16)$$

$$Ao = 0,00216 \text{ m}^2 = 21,638046 \text{ cm}^2$$

$$Nt \text{ max} = \frac{At}{Ao} \quad (17)$$

$$Nt = (\text{jumlah pipa}) \text{ max}$$

$$Nt \text{ max} = 670,5642 \text{ buah}$$

$$\rho_s = 1,59 \text{ gr/cm}^3$$

$$P = 1 \text{ tm}$$

$$BM = 57,6783 \text{ g/gmol}$$

$$R = 82,05 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm/gmol} \cdot \text{K}$$

$$T \text{ udara} = 303 \text{ K}$$

$$\rho_g = 0,1495 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{udara}} = \frac{P_{\text{udara}} \cdot BM_{\text{udara}}}{R \cdot T_{\text{udara}}} \quad (18)$$

$$\rho \text{ udara} = 0,002320018 \text{ g/cm}^3$$

**Katalis:**

$$\text{Bentuk} = \text{Granule}$$

$$Re = 4500$$

$$Fd = 0,014$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{4(\rho_b - \rho_g)g \cdot Dp}{3 \cdot \rho_g \cdot f_D}} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} V_{max} &= 69,20131118 \text{ cm/det} \\ &= 2491,247202 \text{ m/jam} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{G}{\rho_g} \quad (20)$$

$$Q = 8333,480217 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$At = \frac{Q}{V_{max}} \quad (21)$$

$$At = 120,42373 \text{ cm}^2$$

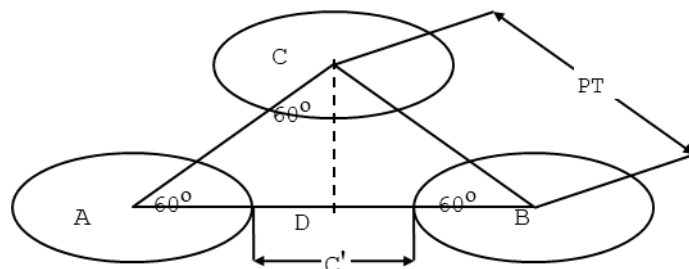
$$Nt \text{ min} = \frac{At}{A_o} \quad (22)$$

$$Nt \text{ min} = 5,5654 \text{ buah}$$

$$\text{ambil } Nt = 550 \text{ buah}$$

## 11. Menentukan Diameter Reaktor

Pipe (tube) disusun dengan pola 'triangular pitch atau susunan segitiga' agar turbulensi yang terjadi pada aliran fluida dalam shell menjadi besar, sehingga memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi ( $h_o$ ). Sehingga, transfer panas lebih baik dari pada susunan square pitch atau susunan persegi.



Susunan tube = triangular

Pitch tube (PT) = 1.25 x ODt 2,975 in = 7,5565 cm

Clearance (C') = PT - ODt 0,595 in = 1,5113 cm

Untuk menghitung diameter shell, di cari luas penampang shell total (A total)

Luas Shell = Luas Segitiga

$$A_{total} = 2 \cdot Nt \cdot \text{Luas segitiga ABC} \quad (23)$$

$$\frac{\pi}{4} \times ID_s^2 = 2 \cdot Nt \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot PT^2 \cdot \sin 60 \right) \quad (24)$$

$$\frac{\pi}{4} \times ID_s^2 = 2 \cdot Nt \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot PT^2 \cdot 0,866 \right) \quad (25)$$

$$ID_s = \sqrt{\frac{4Nt \cdot Pt^2 \cdot 0,866}{\pi}} \quad (26)$$

IDs = 186,13419 cm

= 1,86134 m

= 73,28122 in

## 12. Menentukan Cp Pendingin

Jenis = Air

T = 303 K 30 C

P = 0,101325027 mPa 1 Atm

	K	C	F
T in	393,15	120	248,0
T out	393,15	120	248,0
<b>delta T</b>	393	120	248

$$C_{pp} = 0,1152 + (0,0003402 \times T)$$

$$C_{pp} = 0,2489 \text{ kal/gr.K}$$

$$= 0,4485 \text{ Btu/lb.K}$$

$$= 0,0005 \text{ Btu/gr.K}$$

$$= 1,0421 \text{ J/gr.K}$$

### 13. Menentukan Densitas Pendingin pada $T_{in}$

$$\rho_p = \frac{Kp = 1.3644 - (9.7073 \times 10^{-4} \times Tin)}{0,982757501 \text{ gr/cm}^3} \quad (27)$$

### 14. Menentukan Konduktivitas Thermal Pendingin pada $T_{in}$

$$K_p = \frac{Kp = 1.512 - 0.0010387 \times Tin}{1,1036 \text{ kal/cm jam K}} \quad (28)$$

$$= 0,4621 \text{ kJ/m.jam.K}$$

$$= 1,1388 \text{ Btu/ft.jam.F}$$

### 15. Menentukan Viskositas Pendingin pada $T_{in}$

$$\mu_p = \frac{\mu_p = 35.5898 - 0.04212 \times Tin}{19,030322 \text{ gr/cm jam}} \quad (29)$$

$$= 0,005286201 \text{ gr/cm det}$$

$$= 1,9030322 \text{ kg/m.jam}$$

$$= 1,278777035 \text{ lb/ft.jam}$$

## 16. Menentukan Pendingin yang Dibutuhkan

$$T_{in} = 120,00^{\circ}\text{C} = 393,15 \text{ K} = 248^{\circ}\text{F}$$

$$T_{out} = 120,00^{\circ}\text{C} = 393,15 \text{ K} = 248^{\circ}\text{F}$$

$$C_p \text{ Air} = 0,2489 \text{ Kal/gr.K}$$

$$Q_h = 850.875,26 \text{ kkal/jam}$$

$$= 850.875.262,03 \text{ kal/jam}$$

$$= 3560062096 \text{ Kj/jam}$$

$$W_p = \frac{Q_H}{C_p \cdot \Delta T} \quad (30)$$

$$W_p = 8693529,501 \text{ gr/jam}$$

$$= 8693,529501 \text{ kg/jam}$$

$$= 2,414869306 \text{ kg/s}$$

$$= 68852753,65 \text{ kg/tahun}$$

## 17. Menentukan Koefisien Perpindahan Panas Overall (Ud)

### a) Tube Side

$$C_p = 89,64061 \text{ kj/kmol.K}$$

$$= 1556,54440 \text{ kj/kg.K}$$

$$= 371,77440 \text{ Btu/lb.F}$$

$$\mu = 0,000100 \text{ g/cm.s}$$

$$= 0,02423 \text{ lb/ft.h}$$

$$k = 0,01918 \text{ W/m.k}$$

$$= 0,01108 \text{ Btu/ft.h.F}$$

$$PR = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (31)$$

$$PR = 812,8042$$

$$Gt = 0,08584 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{dtk}$$

$$Dt = 5,250 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{G \cdot Dt}{\mu} \quad (32)$$

$$Re = 4500$$

$$jH = 15 \quad \text{Sumber : Gam. 24 Kern Halaman 834}$$

$$hi = jH \cdot \left( \frac{k}{IDt} \right) \cdot Pr^{1/3} \quad (33)$$

$$hi = 9,00661 \text{ btu/jam.ft} \cdot \text{F}$$

$$hio = hi \times \frac{ID}{OD} \quad (34)$$

$$hio = 7,82213 \text{ btu/jam.ft}^2 \cdot \text{F}$$

## b) Shell Side

Didalam shell digunakan pemanas dengan spesifikasi berikut:

sifat fisis pemanas → liquid

$$T = 393,15 \text{ K}$$

$$\mu_s = 19,030322 \text{ gr/cm.jam}$$

$$= 0,005286201 \text{ gr/cm.det}$$

$$= 1,278777035 \text{ lb/ft.jam}$$

CPs:

$$T = 393,15 \text{ K}$$

$$CPs = 0,2489 \text{ Cal/gr.K}$$

$$= 114,7866797 \text{ btu/lb.F}$$

$$= 1,0421 \text{ J/gr.K}$$

$K_s :$

$$T = 393,15 \text{ K}$$

$$K_s = 1,1388 \text{ Btu/ft.jam.F}$$

$$C_p = 114,7866797 \text{ Btu/lb.F}$$

$$\mu_s = 1,278777035 \text{ lb/ft.jam}$$

$$K_s = 1,1388 \text{ Btu/ft.jam.F}$$

Menghitung bilangan Reynold di Shell ( $Re_s$ )

$$ID_s \text{ (diameter dalam shell)} = 73,28122 \text{ in}$$

$$B \text{ (baffle Spacing)} = 54,96091 \text{ in}$$

$$PT \text{ (Pitch Tube)} = 2,975 \text{ in}$$

$$C' \text{ (jarak antar tube)} = 0,595 \text{ in}$$

$$W_s \text{ (Laju aliran pemanas)} = 8693,529501 \text{ kg/jam}$$

$$= 19165,92901 \text{ lb/jam}$$

$$a_s = \frac{ID_s \cdot C' \cdot B}{144 \cdot PT} \quad (35)$$

$$a_s \text{ (flow area pada shell)} = 5,59389 \text{ in}^2 = 0,038846 \text{ ft}^2$$

$$G_s = \frac{W_s}{a_s} \quad (36)$$

$$G_s \text{ (Mass velocity fluida dalam shell)} = 1554,110989 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{h}$$

$$De \text{ (Diameter Equivalen)} = 1,72247 \text{ in}$$

$$= 0,14353 \text{ ft}$$

$$= 4,37507 \text{ cm}$$

$$Re_s = \frac{Gs \cdot De}{\mu_s} \quad (37)$$

$$Res = 2093,333404$$

$$jH = 13 \quad (\text{Sources : fig. 28 Kern, Page 838})$$

$$h_o = jH \left( \frac{Ks}{De} \right) \left( \frac{Cp_s \cdot \mu_s}{k_s} \right)^{1/3} \quad (38)$$

$$ho = 521,0260408 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$$

**c) Clean Overall Coefficient (Uc)**

$$Uc = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} \quad (39)$$

$$Uc = 7,70643 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$$

**18. Menentukan Rd (Dirty Factor)**

Dari Grafik didapatkan

$$Rd \text{ Shell} = 0,00390 \quad \text{Sources : Gambar 29, Kern, Halaman 839}$$

$$Rd \text{ Tube} = 0,00036 \quad \text{Gambar : Gambar. 26, Kern, Halaman 836}$$

$$Rd = Rd \text{ Shell} + Rd \text{ Tube}$$

$$= 0,00426 \text{ hr.ft}^2.\text{F/Btu}$$

$$Ud = \frac{1}{Rd + \frac{1}{Uc}} \quad (40)$$

$$Ud = 7,46147 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$$

$$= 36,42691 \text{ kkal/jam.m}^2.\text{K}$$

$$= 152,51213 \text{ kj/jam.m}^2.\text{K}$$



## 19. Menghitung Panjang Reaktor

Persamaan neraca massa pada elemen volume

$$\frac{dX}{dZ} = \frac{(-r_A) \cdot Nt \cdot \pi \cdot (IDt)^2}{4 \cdot FAO} \quad (41)$$

Persamaan neraca panas pada elemen volume

$$\frac{dT}{dZ} = \frac{(-\Delta H_R) \cdot FAO \cdot \frac{dX}{dZ} - Ud \cdot \pi \cdot ODt \cdot Nt \cdot (T - Tp)}{\sum Fi \cdot Cpi} \quad (42)$$

Persamaan neraca panas pemanas

$$\frac{dT_s}{dZ} = \frac{Ud \cdot \pi \cdot ODt \cdot Nt \cdot (T - T_s)}{Wp \cdot Cp_p} \quad (43)$$

Persamaan pressure drop

$$\frac{dP}{dZ} = \frac{Gt}{\rho \cdot g_c \cdot Dp} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)}{(\varepsilon)^3} \cdot \left( \frac{150 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \mu}{Dp} + 1,75 \cdot Gt \right) \quad (44)$$

$$(-r_A) = k_o \cdot \exp\left(\frac{-Ea}{R \cdot T}\right) \cdot \frac{FAO \cdot (1 - x)}{F_{T0}} \quad (45)$$

Pendekatan menghitung Pressure Drop dengan menggunakan Ergun Equation

$$\sum Fi \cdot Cpi = [FAO \cdot (1 - x) \cdot C_{PA}] + \left[ \left( F_{Bo} + \frac{1}{2} \cdot FAO \cdot x \right) \cdot (C_{PB}) \right] + \left[ \left( F_{Co} + \frac{1}{2} \cdot FAO \cdot x \right) \cdot (C_{PC}) \right] \quad (46)$$

$\Delta z$	0,10											
<b>z (m)</b>	<b>x</b>	<b>T (K)</b>	<b>Ts (K)</b>	$\int \Delta CP \cdot dT$	<b>(-<math>\Delta HR</math>)</b>	<b>P (atm)</b>	<b>ra, Kmol/ m<sup>3</sup>jam</b>	<b>dx/dz</b>	<b>dT/dz</b>	<b>dTs/dz</b>	<b>dP/dz</b>	<b>Fi.Cpi</b>
0,0	0,0000000	393,1500000	393,1500000	115080,5116	10944,81	1	5,64E-02	8,63E-04	1,83E-05	0,00E+00	2,76E-10	4,02E+07
0,1	0,0086340	393,1500018	393,1500000	115080,5136	10944,81	1	5,59E-02	8,56E-04	1,79E-05	3,21E-06	2,97E-10	4,08E+07
0,2	0,0171934	393,1500036	393,1500003	115080,5155	10944,81	1	5,54E-02	8,49E-04	1,75E-05	5,79E-06	2,96E-10	4,13E+07
0,3	0,0256789	393,1500054	393,1500009	115080,5174	10944,81	1	5,50E-02	8,41E-04	1,71E-05	7,84E-06	2,94E-10	4,19E+07
0,4	0,0340911	393,1500071	393,1500017	115080,5193	10944,81	1	5,45E-02	8,34E-04	1,67E-05	9,46E-06	2,93E-10	4,25E+07
0,5	0,0424308	393,1500087	393,1500026	115080,5211	10944,81	1	5,40E-02	8,27E-04	1,64E-05	1,07E-05	2,92E-10	4,30E+07
0,6	0,0506984	393,1500104	393,1500037	115080,5229	10944,81	1	5,35E-02	8,20E-04	1,60E-05	1,17E-05	2,91E-10	4,36E+07
0,7	0,0588946	393,1500120	393,1500049	115080,5246	10944,81	1	5,31E-02	8,13E-04	1,57E-05	1,25E-05	2,89E-10	4,41E+07
0,8	0,0670201	393,1500135	393,1500061	115080,5263	10944,81	1	5,26E-02	8,06E-04	1,53E-05	1,30E-05	2,88E-10	4,47E+07
0,9	0,0750754	393,1500151	393,1500074	115080,5279	10944,81	1	5,22E-02	7,99E-04	1,50E-05	1,34E-05	2,87E-10	4,52E+07
1,0	0,0830612	393,1500166	393,1500088	115080,5296	10944,81	1	5,17E-02	7,92E-04	1,47E-05	1,37E-05	2,86E-10	4,57E+07
1,1	0,0909780	393,1500181	393,1500101	115080,5312	10944,81	1	5,13E-02	7,85E-04	1,44E-05	1,39E-05	2,85E-10	4,62E+07
1,2	0,0988264	393,1500195	393,1500115	115080,5327	10944,81	1	5,08E-02	7,78E-04	1,42E-05	1,40E-05	2,83E-10	4,68E+07
1,3	0,1066071	393,1500209	393,1500129	115080,5343	10944,81	1	5,04E-02	7,71E-04	1,39E-05	1,40E-05	2,82E-10	4,73E+07
1,4	0,1143206	393,1500223	393,1500143	115080,5358	10944,81	1	5,00E-02	7,65E-04	1,36E-05	1,40E-05	2,81E-10	4,78E+07

1,5	0,1219676	393,1500237	393,1500157	115080,5372	10944,81	1	4,95E-02	7,58E-04	1,34E-05	1,39E-05	2,80E-10	4,83E+07
1,6	0,1295485	393,1500250	393,1500171	115080,5387	10944,81	1	4,91E-02	7,52E-04	1,31E-05	1,38E-05	2,79E-10	4,88E+07
1,7	0,1370639	393,1500263	393,1500185	115080,5401	10944,81	1	4,87E-02	7,45E-04	1,29E-05	1,37E-05	2,78E-10	4,93E+07
1,8	0,1445145	393,1500276	393,1500199	115080,5415	10944,81	1	4,83E-02	7,39E-04	1,26E-05	1,36E-05	2,77E-10	4,98E+07
1,9	0,1519007	393,1500289	393,1500212	115080,5429	10944,81	1	4,78E-02	7,32E-04	1,24E-05	1,34E-05	2,75E-10	5,03E+07
2,0	0,1592231	393,1500301	393,1500226	115080,5442	10944,81	1	4,74E-02	7,26E-04	1,22E-05	1,32E-05	2,74E-10	5,08E+07
2,1	0,1664824	393,1500313	393,1500239	115080,5455	10944,81	1	4,70E-02	7,20E-04	1,19E-05	1,30E-05	2,73E-10	5,13E+07
2,2	0,1736789	393,1500325	393,1500252	115080,5468	10944,81	1	4,66E-02	7,13E-04	1,17E-05	1,28E-05	2,72E-10	5,17E+07
2,3	0,1808134	393,1500337	393,1500265	115080,5481	10944,81	1	4,62E-02	7,07E-04	1,15E-05	1,26E-05	2,71E-10	5,22E+07
2,4	0,1878862	393,1500348	393,1500277	115080,5493	10944,81	1	4,58E-02	7,01E-04	1,13E-05	1,24E-05	2,70E-10	5,27E+07
2,5	0,1948980	393,1500360	393,1500290	115080,5506	10944,81	1	4,54E-02	6,95E-04	1,11E-05	1,22E-05	2,69E-10	5,32E+07
2,6	0,2018492	393,1500371	393,1500302	115080,5518	10944,81	1	4,50E-02	6,89E-04	1,09E-05	1,21E-05	2,68E-10	5,36E+07
2,7	0,2087404	393,1500382	393,1500314	115080,5529	10944,81	1	4,46E-02	6,83E-04	1,07E-05	1,19E-05	2,67E-10	5,41E+07
2,8	0,2155721	393,1500392	393,1500326	115080,5541	10944,81	1	4,42E-02	6,77E-04	1,06E-05	1,17E-05	2,66E-10	5,45E+07
2,9	0,2223448	393,1500403	393,1500338	115080,5552	10944,81	1	4,39E-02	6,71E-04	1,04E-05	1,15E-05	2,65E-10	5,50E+07
3,0	0,2290590	393,1500413	393,1500349	115080,5564	10944,81	1	4,35E-02	6,66E-04	1,02E-05	1,13E-05	2,64E-10	5,54E+07
3,1	0,2357153	393,1500424	393,1500360	115080,5575	10944,81	1	4,31E-02	6,60E-04	1,00E-05	1,11E-05	2,63E-10	5,59E+07

3,2	0,2423141	393,1500434	393,1500372	115080,5586	10944,81	1	4,27E-02	6,54E-04	9,88E-06	1,09E-05	2,62E-10	5,63E+07
3,3	0,2488560	393,1500444	393,1500382	115080,5596	10944,81	1	4,24E-02	6,49E-04	9,72E-06	1,07E-05	2,61E-10	5,67E+07
3,4	0,2553413	393,1500453	393,1500393	115080,5607	10944,81	1	4,20E-02	6,43E-04	9,57E-06	1,06E-05	2,60E-10	5,72E+07
3,5	0,2617707	393,1500463	393,1500404	115080,5617	10944,81	1	4,16E-02	6,37E-04	9,41E-06	1,04E-05	2,59E-10	5,76E+07
3,6	0,2681445	393,1500472	393,1500414	115080,5627	10944,81	1	4,13E-02	6,32E-04	9,26E-06	1,02E-05	2,58E-10	5,80E+07
3,7	0,2744633	393,1500481	393,1500424	115080,5637	10944,81	1	4,09E-02	6,26E-04	9,12E-06	1,00E-05	2,57E-10	5,84E+07
3,8	0,2807276	393,1500491	393,1500434	115080,5647	10944,81	1	4,06E-02	6,21E-04	8,98E-06	9,88E-06	2,56E-10	5,89E+07
3,9	0,2869377	393,1500500	393,1500444	115080,5657	10944,81	1	4,02E-02	6,16E-04	8,84E-06	9,72E-06	2,55E-10	5,93E+07
4,0	0,2930943	393,1500508	393,1500454	115080,5667	10944,81	1	3,99E-02	6,10E-04	8,70E-06	9,57E-06	2,54E-10	5,97E+07
4,1	0,2991977	393,1500517	393,1500464	115080,5676	10944,81	1	3,95E-02	6,05E-04	8,57E-06	9,41E-06	2,53E-10	6,01E+07
4,2	0,3052484	393,1500526	393,1500473	115080,5685	10944,81	1	3,92E-02	6,00E-04	8,44E-06	9,26E-06	2,53E-10	6,05E+07
4,3	0,3112468	393,1500534	393,1500482	115080,5694	10944,81	1	3,88E-02	5,95E-04	8,31E-06	9,12E-06	2,52E-10	6,09E+07
4,4	0,3171935	393,1500542	393,1500491	115080,5703	10944,81	1	3,85E-02	5,90E-04	8,18E-06	8,98E-06	2,51E-10	6,13E+07
4,5	0,3230888	393,1500551	393,1500500	115080,5712	10944,81	1	3,82E-02	5,84E-04	8,06E-06	8,84E-06	2,50E-10	6,17E+07
4,6	0,3289333	393,1500559	393,1500509	115080,5721	10944,81	1	3,78E-02	5,79E-04	7,94E-06	8,70E-06	2,49E-10	6,21E+07
4,7	0,3347272	393,1500567	393,1500518	115080,5730	10944,81	1	3,75E-02	5,74E-04	7,82E-06	8,57E-06	2,48E-10	6,25E+07
4,8	0,3404712	393,1500574	393,1500526	115080,5738	10944,81	1	3,72E-02	5,69E-04	7,71E-06	8,44E-06	2,47E-10	6,28E+07

4,9	0,3461655	393,1500582	393,1500535	115080,5746	10944,81	1	3,69E-02	5,65E-04	7,60E-06	8,31E-06	2,46E-10	6,32E+07
5,0	0,3518107	393,1500590	393,1500543	115080,5755	10944,81	1	3,66E-02	5,60E-04	7,49E-06	8,18E-06	2,46E-10	6,36E+07
5,1	0,3574071	393,1500597	393,1500551	115080,5763	10944,81	1	3,62E-02	5,55E-04	7,38E-06	8,06E-06	2,45E-10	6,40E+07
5,2	0,3629553	393,1500605	393,1500559	115080,5771	10944,81	1	3,59E-02	5,50E-04	7,27E-06	7,94E-06	2,44E-10	6,43E+07
5,3	0,3684555	393,1500612	393,1500567	115080,5779	10944,81	1	3,56E-02	5,45E-04	7,17E-06	7,82E-06	2,43E-10	6,47E+07
5,4	0,3739082	393,1500619	393,1500575	115080,5786	10944,81	1	3,53E-02	5,41E-04	7,07E-06	7,71E-06	2,42E-10	6,51E+07
5,5	0,3793139	393,1500626	393,1500583	115080,5794	10944,81	1	3,50E-02	5,36E-04	6,97E-06	7,60E-06	2,42E-10	6,54E+07
5,6	0,3846728	393,1500633	393,1500590	115080,5802	10944,81	1	3,47E-02	5,31E-04	6,87E-06	7,49E-06	2,41E-10	6,58E+07
5,7	0,3899856	393,1500640	393,1500598	115080,5809	10944,81	1	3,44E-02	5,27E-04	6,78E-06	7,38E-06	2,40E-10	6,61E+07
5,8	0,3952524	393,1500647	393,1500605	115080,5816	10944,81	1	3,41E-02	5,22E-04	6,68E-06	7,27E-06	2,39E-10	6,65E+07
5,9	0,4004738	393,1500653	393,1500613	115080,5824	10944,81	1	3,38E-02	5,18E-04	6,59E-06	7,17E-06	2,38E-10	6,68E+07
6,0	0,4056501	393,1500660	393,1500620	115080,5831	10944,81	1	3,35E-02	5,13E-04	6,50E-06	7,07E-06	2,38E-10	6,72E+07
6,1	0,4107817	393,1500667	393,1500627	115080,5838	10944,81	1	3,32E-02	5,09E-04	6,41E-06	6,97E-06	2,37E-10	6,75E+07
6,2	0,4158689	393,1500673	393,1500634	115080,5845	10944,81	1	3,29E-02	5,04E-04	6,32E-06	6,87E-06	2,36E-10	6,78E+07
6,3	0,4209123	393,1500679	393,1500641	115080,5852	10944,81	1	3,27E-02	5,00E-04	6,24E-06	6,77E-06	2,35E-10	6,82E+07
6,4	0,4259121	393,1500685	393,1500647	115080,5858	10944,81	1	3,24E-02	4,96E-04	6,15E-06	6,68E-06	2,35E-10	6,85E+07
6,5	0,4308688	393,1500692	393,1500654	115080,5865	10944,81	1	3,21E-02	4,91E-04	6,07E-06	6,59E-06	2,34E-10	6,88E+07

6,6	0,4357826	393,1500698	393,1500661	115080,5872	10944,81	1	3,18E-02	4,87E-04	5,99E-06	6,50E-06	2,33E-10	6,92E+07
6,7	0,4406541	393,1500704	393,1500667	115080,5878	10944,81	1	3,15E-02	4,83E-04	5,91E-06	6,41E-06	2,32E-10	6,95E+07
6,8	0,4454834	393,1500710	393,1500674	115080,5884	10944,81	1	3,13E-02	4,79E-04	5,83E-06	6,32E-06	2,32E-10	6,98E+07
6,9	0,4502711	393,1500715	393,1500680	115080,5891	10944,81	1	3,10E-02	4,75E-04	5,76E-06	6,24E-06	2,31E-10	7,01E+07
7,0	0,4550175	393,1500721	393,1500686	115080,5897	10944,81	1	3,07E-02	4,71E-04	5,68E-06	6,15E-06	2,30E-10	7,05E+07
7,1	0,4597228	393,1500727	393,1500692	115080,5903	10944,81	1	3,05E-02	4,66E-04	5,61E-06	6,07E-06	2,30E-10	7,08E+07
7,2	0,4643875	393,1500732	393,1500698	115080,5909	10944,81	1	3,02E-02	4,62E-04	5,54E-06	5,99E-06	2,29E-10	7,11E+07
7,3	0,4690120	393,1500738	393,1500704	115080,5915	10944,81	1	2,99E-02	4,58E-04	5,46E-06	5,91E-06	2,28E-10	7,14E+07
7,4	0,4735965	393,1500743	393,1500710	115080,5921	10944,81	1	2,97E-02	4,54E-04	5,39E-06	5,83E-06	2,28E-10	7,17E+07
7,5	0,4781415	393,1500749	393,1500716	115080,5927	10944,81	1	2,94E-02	4,51E-04	5,32E-06	5,75E-06	2,27E-10	7,20E+07
7,6	0,4826472	393,1500754	393,1500722	115080,5933	10944,81	1	2,92E-02	4,47E-04	5,26E-06	5,68E-06	2,26E-10	7,23E+07
7,7	0,4871140	393,1500759	393,1500728	115080,5938	10944,81	1	2,89E-02	4,43E-04	5,19E-06	5,60E-06	2,25E-10	7,26E+07
7,8	0,4915422	393,1500765	393,1500733	115080,5944	10944,81	1	2,87E-02	4,39E-04	5,12E-06	5,53E-06	2,25E-10	7,29E+07
7,9	0,4959322	393,1500770	393,1500739	115080,5950	10944,81	1	2,84E-02	4,35E-04	5,06E-06	5,46E-06	2,24E-10	7,32E+07
8,0	0,5002843	393,1500775	393,1500744	115080,5955	10944,81	1	2,82E-02	4,31E-04	5,00E-06	5,39E-06	2,24E-10	7,35E+07
8,1	0,5045989	393,1500780	393,1500750	115080,5960	10944,81	1	2,79E-02	4,28E-04	4,93E-06	5,32E-06	2,23E-10	7,37E+07
8,2	0,5088761	393,1500785	393,1500755	115080,5966	10944,81	1	2,77E-02	4,24E-04	4,87E-06	5,25E-06	2,22E-10	7,40E+07

8,3	0,5131165	393,1500790	393,1500760	115080,5971	10944,81	1	2,75E-02	4,20E-04	4,81E-06	5,19E-06	2,22E-10	7,43E+07
8,4	0,5173202	393,1500794	393,1500765	115080,5976	10944,81	1	2,72E-02	4,17E-04	4,75E-06	5,12E-06	2,21E-10	7,46E+07
8,5	0,5214877	393,1500799	393,1500770	115080,5981	10944,81	1	2,70E-02	4,13E-04	4,69E-06	5,06E-06	2,20E-10	7,49E+07
8,6	0,5256191	393,1500804	393,1500775	115080,5986	10944,81	1	2,68E-02	4,10E-04	4,64E-06	4,99E-06	2,20E-10	7,51E+07
8,7	0,5297149	393,1500809	393,1500780	115080,5992	10944,81	1	2,65E-02	4,06E-04	4,58E-06	4,93E-06	2,19E-10	7,54E+07
8,8	0,5337753	393,1500813	393,1500785	115080,5996	10944,81	1	2,63E-02	4,03E-04	4,52E-06	4,87E-06	2,19E-10	7,57E+07
8,9	0,5378007	393,1500818	393,1500790	115080,6001	10944,81	1	2,61E-02	3,99E-04	4,47E-06	4,81E-06	2,18E-10	7,60E+07
9,0	0,5417913	393,1500822	393,1500795	115080,6006	10944,81	1	2,58E-02	3,96E-04	4,42E-06	4,75E-06	2,17E-10	7,62E+07
9,1	0,5457475	393,1500827	393,1500800	115080,6011	10944,81	1	2,56E-02	3,92E-04	4,36E-06	4,69E-06	2,17E-10	7,65E+07
9,2	0,5496695	393,1500831	393,1500805	115080,6016	10944,81	1	2,54E-02	3,89E-04	4,31E-06	4,63E-06	2,16E-10	7,67E+07
9,3	0,5535576	393,1500835	393,1500809	115080,6020	10944,81	1	2,52E-02	3,85E-04	4,26E-06	4,58E-06	2,16E-10	7,70E+07
9,4	0,5574122	393,1500839	393,1500814	115080,6025	10944,81	1	2,50E-02	3,82E-04	4,21E-06	4,52E-06	2,15E-10	7,73E+07
9,5	0,5612334	393,1500844	393,1500818	115080,6030	10944,81	1	2,47E-02	3,79E-04	4,16E-06	4,47E-06	2,14E-10	7,75E+07
9,6	0,5650217	393,1500848	393,1500823	115080,6034	10944,81	1	2,45E-02	3,76E-04	4,11E-06	4,41E-06	2,14E-10	7,78E+07
9,7	0,5687773	393,1500852	393,1500827	115080,6038	10944,81	1	2,43E-02	3,72E-04	4,06E-06	4,36E-06	2,13E-10	7,80E+07
9,8	0,5725005	393,1500856	393,1500831	115080,6043	10944,81	1	2,41E-02	3,69E-04	4,01E-06	4,31E-06	2,13E-10	7,83E+07
9,9	0,5761915	393,1500860	393,1500836	115080,6047	10944,81	1	2,39E-02	3,66E-04	3,97E-06	4,25E-06	2,12E-10	7,85E+07

10,0	0,5798507	393,1500864	393,1500840	115080,6052	10944,81	1	2,37E-02	3,63E-04	3,92E-06	4,20E-06	2,12E-10	7,88E+07
10,1	0,5834782	393,1500868	393,1500844	115080,6056	10944,81	1	2,35E-02	3,60E-04	3,87E-06	4,15E-06	2,11E-10	7,90E+07
10,2	0,5870744	393,1500872	393,1500848	115080,6060	10944,81	1	2,33E-02	3,57E-04	3,83E-06	4,10E-06	2,11E-10	7,92E+07
10,3	0,5906396	393,1500876	393,1500853	115080,6064	10944,81	1	2,31E-02	3,53E-04	3,78E-06	4,06E-06	2,10E-10	7,95E+07
10,4	0,5941740	393,1500879	393,1500857	115080,6068	10944,81	1	2,29E-02	3,50E-04	3,74E-06	4,01E-06	2,10E-10	7,97E+07
10,5	0,5976779	393,1500883	393,1500861	115080,6072	10944,81	1	2,27E-02	3,47E-04	3,70E-06	3,96E-06	2,09E-10	7,99E+07
10,6	0,6011515	393,1500887	393,1500865	115080,6076	10944,81	1	2,25E-02	3,44E-04	3,65E-06	3,91E-06	2,08E-10	8,02E+07
10,7	0,6045952	393,1500890	393,1500868	115080,6080	10944,81	1	2,23E-02	3,41E-04	3,61E-06	3,87E-06	2,08E-10	8,04E+07
10,8	0,6080091	393,1500894	393,1500872	115080,6084	10944,81	1	2,21E-02	3,38E-04	3,57E-06	3,82E-06	2,07E-10	8,06E+07
10,9	0,6113935	393,1500898	393,1500876	115080,6088	10944,81	1	2,19E-02	3,36E-04	3,53E-06	3,78E-06	2,07E-10	8,09E+07
11,0	0,6147487	393,1500901	393,1500880	115080,6092	10944,81	1	2,17E-02	3,33E-04	3,49E-06	3,74E-06	2,06E-10	8,11E+07
11,1	0,6180750	393,1500905	393,1500884	115080,6096	10944,81	1	2,15E-02	3,30E-04	3,45E-06	3,69E-06	2,06E-10	8,13E+07
11,2	0,6213725	393,1500908	393,1500887	115080,6099	10944,81	1	2,14E-02	3,27E-04	3,41E-06	3,65E-06	2,05E-10	8,15E+07
11,3	0,6246416	393,1500912	393,1500891	115080,6103	10944,81	1	2,12E-02	3,24E-04	3,37E-06	3,61E-06	2,05E-10	8,17E+07
11,4	0,6278824	393,1500915	393,1500895	115080,6107	10944,81	1	2,10E-02	3,21E-04	3,34E-06	3,57E-06	2,05E-10	8,19E+07
11,5	0,6310953	393,1500918	393,1500898	115080,6110	10944,81	1	2,08E-02	3,19E-04	3,30E-06	3,53E-06	2,04E-10	8,22E+07
11,6	0,6342804	393,1500922	393,1500902	115080,6114	10944,81	1	2,06E-02	3,16E-04	3,26E-06	3,49E-06	2,04E-10	8,24E+07



11,7	0,6374380	393,1500925	393,1500905	115080,6117	10944,81	1	2,04E-02	3,13E-04	3,22E-06	3,45E-06	2,03E-10	8,26E+07
11,8	0,6405683	393,1500928	393,1500909	115080,6121	10944,81	1	2,03E-02	3,10E-04	3,19E-06	3,41E-06	2,03E-10	8,28E+07
11,9	0,6436716	393,1500931	393,1500912	115080,6124	10944,81	1	2,01E-02	3,08E-04	3,15E-06	3,37E-06	2,02E-10	8,30E+07
12,0	0,6467482	393,1500934	393,1500915	115080,6128	10944,81	1	1,99E-02	3,05E-04	3,12E-06	3,33E-06	2,02E-10	8,32E+07

**RESUME :**

Konversi (X)	= 60,11515 %
Suhu gas masuk (Tin)	= 393,15°C = 666,15 K
Suhu gas keluar (Tout)	= 393,1500887°C = 666,1500887 K
Z (panjang pipa tube)	= 10,6 m = 417,3228346 in
Tekanan masuk (P in)	= 1,0 atm
Tekanan keluar (P out)	= 1,00 atm
Pressure drop	= 2,08E-10
Diameter shell (IDS)	= 73,28 m = 2885,09 in
Suhu pendingin masuk (Tp in)	= 393,15°C = 666,15 K
Suhu pendingin keluar (Tp out)	= 393,1500865°C = 666,1500865 K

Kode : R-02

Fase : Cair-Gas

Fungsi : Mereaksikan TDA menjadi DIBK dengan bantuan katalis Pd/Amberlyst15

Jenis : *Fixed Bed Multitube Reactor*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel Tipe 304*

Kondisi Operasi :

e. Suhu ruang = 25°C

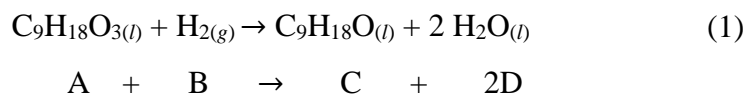
f. Suhu operasi = 120 °C

g. Tekanan operasi = 1 atm = 14,6959 psi

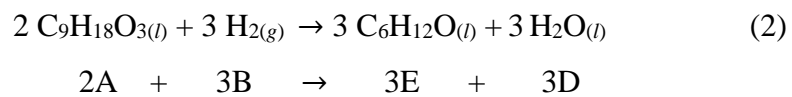
h. Konversi = 0,87

Reaksi:

1) Reaksi 1



2) Reaksi 2



Dimana:

A : Triacetone Dialcohol (TDA)

B : Hidrogen

C : Diisobutyl Ketone (DIBK)

D : Air

E : Methyl Isobutil Ketone (MIBK)

### 1. Menentukan Yi

Komponen	BM	Arus 3				
		Mol%	Mole Flow (kmol/jam)	Mass Flow (kg/jam)	yi	Bmi x Yi
Aseton	58,08	0,007	0,309	17,969	0,007	0,380
Hidrogen	2,03	0,652	30,785	62,494	0,652	1,323
DIBK	142,24	0	0	0	0	0
MIBK	100,16	0	0	0	0	0
Air	18,02	0,016	0,754	13,579	0,016	0,287
DAA	116,16	0	0	0	0	0
TDA	174,24	0,326	15,393	2682,000	0,326	56,773
<b>Total</b>		<b>1,00</b>	<b>47,24</b>	<b>2776,04</b>	<b>1,00</b>	<b>58,76</b>

### 2. Menentukan Z umpan Reaktor

Komponen	BM	yi	pc (bar)	Pc(Atm)	Tc(K)	w	Yi.BM	Yi.Pc	Yi.Tc	Yi.w
Aseton	58,08	0,007	47,02	46,405	508,20	0,306	0,380	0,304	3,328	0,002
Hidrogen	2,03	0,652	12,12	11,962	33,18	-0,22	1,323	7,795	21,622	-0,143
DIBK	142,24	0	24,80	24,476	615,00	0,512	0	0	0	0
MIBK	100,16	0	32,73	32,302	571,40	0,389	0	0	0	0
Air	18,02	0,016	220,55	217,666	647,13	0,345	0,287	3,472	10,323	0,006
DAA	116,16	0	42,10	41,549	606,00	0,757	0	0	0	0
TDA	174,24	0,326	22,50	22,206	629,00	0,596	56,773	7,235	204,949	0,194
<b>Total</b>		<b>1,000</b>	<b>401,820</b>	<b>396,565</b>	<b>3609,910</b>	<b>2,685</b>	<b>58,764</b>	<b>18,806</b>	<b>240,222</b>	<b>0,058</b>

$$T_c \text{ Umpan} = 240,222 \text{ K}$$

$$P_c \text{ umpan} = 18,806 \text{ atm}$$

$$T_r = T/T_c = 1,636608484$$

$$P_r = P/P_c = 0,053173562$$

$$P_r/T_r = 0,032490093$$

$$B^n = \frac{BP_C}{RT_C} = B^0 + \omega B^1 \quad (3)$$

$$Z = 1 + \frac{BP}{RT} = 1 + B^n \frac{Pr}{Tr} \quad (4)$$

$$Z = 1 + \left(\frac{BP_C}{RT_C}\right) \left(\frac{Pr}{Tr}\right) \quad (5)$$

$$B^0 = 0,083 - \frac{0,422}{Tr^{1,6}} \quad (6)$$

$$B^1 = 0,139 - \frac{0,172}{Tr^{4,2}} \quad (7)$$

Komponen	yi	Tr	Pr	B0	B1	BPc/RTc	Pr/Tr	Z	Yi.Z
Aseton	0,007	0,774	0,022	-0,553	-0,367	-0,665	0,028	0,981	0,006
Hidrogen	0,652	11,849	0,084	0,075	0,139	0,044	0,007	1,000	0,652
DIBK	0	0,639	0,041	-0,780	-0,987	-1,286	0,064	0,918	0
MIBK	0	0,688	0,031	-0,685	-0,688	-0,952	0,045	0,957	0
Air	0,016	0,608	0,005	-0,854	-1,256	-1,287	0,008	0,990	0,016
DAA	0	0,649	0,024	-0,760	-0,920	-1,456	0,037	0,946	0
TDA	0,326	0,625	0,045	-0,812	-1,099	-1,467	0,072	0,894	0,291
<b>Total</b>	<b>1,000</b>	<b>15,831</b>	<b>0,251</b>	<b>-4,369</b>	<b>-5,177</b>	<b>-7,070</b>	<b>0,261</b>	<b>6,687</b>	<b>0,965</b>

### 3. Menentukan Volume Gas Masuk Reaktor

$$Vg = \frac{Z \cdot n \cdot R \cdot T}{P} \quad (8)$$

Dimana:

Vg = Laju alir volumetrik, cm<sup>3</sup>/dtk

n = mol umpan, mol/dtk

R = Konstanta gas, cm<sup>3</sup>.atm/gmol.K

T = temperatur, K

P = Tekanan, atm

Sehingga didapatkan hasil;

Z = 0,9655

$$\begin{aligned}
n &= 13,1224 \text{ mol/detik} \\
T &= 393,15 \text{ K} \\
P &= 1,00 \text{ atm} \\
R &= 82,05 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm/gmol.K} \\
V_g &= 408692,1891 \text{ cm}^3/\text{detik} = 0,4087 \text{ m}^3/\text{detik}
\end{aligned}$$

#### 4. Menentukan Densitas Umpan

$$\rho = \frac{P \cdot B M}{R \cdot T \cdot Z} \quad (9)$$

$$\rho = 0,15481244 \text{ gr/cm}^3 = 9749,777861 \text{ lb/ft}^3$$

#### 5. Menentukan Viskositas Umpan

$$\eta_{gas} = A + BT + CT^2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
T &= 393,15 \text{ K} \\
T^2 &= 154566,9225 \text{ K}
\end{aligned}$$

Komponen	yi	$\eta$ gas	$\eta$ gas	$\eta$ gas	$\eta$ gas
		mikropoise	(kg/s.m)	(kg/jam.m)	lb/ft.jam
Aseton	0,007	9,99E+01	9,99E-06	3,59E-02	8,70E-06
Hidrogen	0,652	1,09E+02	1,09E-05	3,91E-02	0,00E+00
DIBK	0,000	7,18E+01	7,18E-06	2,59E-02	6,26E-06
MIBK	0,000	8,29E+01	8,29E-06	2,98E-02	7,22E-06
Air	0,016	1,29E+02	1,29E-05	4,66E-02	1,13E-05
DAA	0,000	8,98E+01	8,98E-06	3,23E-02	7,82E-06
TDA	0,326	7,17E+01	7,17E-06	2,58E-02	6,24E-06
<b>Total</b>	<b>1,000</b>	<b>6,54E+02</b>	<b>6,54E-05</b>	<b>2,35E-01</b>	<b>4,75E-05</b>

Komponen	yi.η gas	yi.η gas	yi.η gas	yi.η gas
	(kg/jam.m)	lb/ft.jam	mikropoise	(kg/s.m)
Aseton	2,35E-04	5,70E-08	6,54E-01	6,54E-08
Hidrogen	2,55E-02	0,00E+00	7,08E+01	7,08E-06
DIBK	0	0	0	0
MIBK	0	0	0	0
Air	7,43E-04	1,80E-07	2,06E+00	2,06E-07
DAA	0	0	0	0
TDA	8,41E-03	2,03E-06	2,34E+01	2,34E-06
<b>Total</b>	<b>3,49E-02</b>	<b>2,27E-06</b>	<b>9,68E+01</b>	<b>9,68E-06</b>

$$\begin{aligned} \eta_{gas} &= 9,6842E^{-06} \text{ kg/s.m} \\ &= 9,6842E^{-05} \text{ gr/cm.s} \\ &= 1,62E-04 \end{aligned}$$

## 6. Menentukan Konduktivitas Umpan

$$k_{gas} = A + BT + CT^2 \quad (11)$$

$$T = 393,15 \text{ K}$$

$$T^2 = 154566,9225 \text{ K}$$

Komponen	yi	k <sub>gas</sub>	yi.k <sub>gas</sub>
		W/m.K	W/m.K
Aseton	0,006549	1,9104E-02	1,2512E-04
Hidrogen	0,651666	2,1000E-01	1,3685E-01
DIBK	0,000000	1,7593E-02	0
MIBK	0,000000	1,9108E-02	0
Air	0,015952	2,6704E-02	4,2597E-04
DAA	0,000000	1,7478E-02	0
TDA	0,325833	1,4460E-02	4,7115E-03
<b>Total</b>	<b>1,000</b>	<b>0,3244472</b>	<b>0,1421126</b>

$$\begin{aligned}
1 \text{ kJ} &= 0,238846 \text{ kkal} \\
k \text{ campuran} &= 0,1421126 \text{ W/m.K} \\
&= 0,5116053 \text{ kJ/jam.m.K} \\
&= 0,1221949 \text{ kkal/jam.m.K} \\
&= 0,0003394 \text{ kal/dtk.cm.K}
\end{aligned}$$

### 7. Menentukan Kapasitas Panas Gas Umpan

$$C_p = \int A + BT + CT^2 + DT^3 + DT^4 \quad (12)$$

Komponen	y <sub>i</sub>	BM	C <sub>p</sub>	C <sub>p</sub>	C <sub>p</sub>	C <sub>pi</sub> = y <sub>i</sub> .C <sub>p</sub>
		(kg/kmol)	J/mol.K	kJ/kmol.K	kJ/kg.K	kJ/kg.K
Aseton	0,007	0,058	90,202	90,202	1553,058	10,171
Hidrogen	0,652	0,002	29,102	29,102	14335,771	9342,135
DIBK	0	0,142	268,451	268,451	1887,312	0
MIBK	0	0,100	181,326	181,326	1810,364	0
Air	0,016	0,018	34,251	34,251	1900,708	30,319
DAA	0	0,116	196,232	196,232	1689,326	0
TDA	0,326	0,174	283,004	283,004	1624,221	529,225
<b>Total</b>	<b>1,000</b>	<b>0,611</b>	<b>1082,568</b>	<b>1082,568</b>	<b>24800,761</b>	<b>9911,851</b>

Komponen	F <sub>i</sub>	F <sub>i</sub> .C <sub>pi</sub>	C <sub>p</sub> .y <sub>i</sub>
	(kg/jam)	kJ/jam.K	kJ/kmol.K
Aseton	17,969	182,7732	0,5908
Hidrogen	62,494	583825,5468	18,9645
DIBK	0	0	0
MIBK	0	0	0
Air	13,579	411,7170	0,5464
DAA	0	0	0
TDA	2682,000	1419380,8109	92,2121
<b>Total</b>	<b>2776,042</b>	<b>2003800,848</b>	<b>112,314</b>

$$\begin{aligned}
C_p \text{ campuran} &= 112,314 \quad \text{Kjoule/kmol.K} \\
&= 2003800,848 \quad \text{Kjoule/jam.K} \\
&= 9911,851 \quad \text{kJoule/kg.K}
\end{aligned}$$

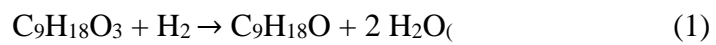
## 8. Menentukan $\Delta HR$

$$T_{rev} = 298 \text{ K}$$

$$T = 393,15 \text{ K}$$

Komponen	$\Delta H_f$ (kJ/mol)	$\Delta H_f$ (kJ/kmol)	$\Delta H_f$ (KJ/mol)	$\Delta H_f$ (kJ/kmol)
Aseton	-217,57	-21757	-222,2495	-22224,9468
Hidrogen	0	0	0	0
DIBK	-357,60	-35760	115,4202	11542,0179
MIBK	-288,49	-28849	-294,6372	-29463,7177
Air	-241,80	-24180	-242,8010	-24280,0976
DAA	-545,80	-54580	-553,9470	-55394,7046
TDA	-560,20	-56020	-572,0792	-57207,9183
<b>Total</b>		<b>-165126,00</b>	<b>-1198,21</b>	<b>-119821,45</b>

Reaksi Pembentukan:



$$\Delta HR_{298} = -28100,0000 \quad \text{kJ/kmol}$$

$$\Delta HR_{298} = 28100,0000 \quad \text{kJ/kmol}$$

$$\Delta H_p = -12738,0797 \quad \text{kJ/kmol}$$

$$\Delta H_r = -57207,9183 \quad \text{kJ/kmol}$$

$$\Delta HR = 44469,8386 \quad \text{kJ/kmol}$$

$$= 10621,44308 \quad \text{kkal/kmol}$$



$$= 10621,4431 \text{ kkal/kmol}$$

## 9. Katalisator

Katalis = Pd/Amberlyst15

Bentuk = Granule

Diameter = 0,73 cm

Void fraction = 0,8

Panjang = 0,7 cm

Densitas = 1,59 gr/cm<sup>3</sup>

Porositas = 0,51

Densitas bulk = 1,2 gr/ml

## 10. Menentukan Ukuran Tube

Diameter reaktor dipilih berdasarkan pertimbangan agar perpindahan panas berjalan dengan baik. Pengaruh rasio  $D_p/D_t$  terhadap koefisien perpindahan dalam pipa yang berisi serbuk katalisator di bandingkan dengan pipa kosong ( $hw/h$ ) yang telah diteliti oleh *Colburn's* yaitu:

$D_p/D_t$	0,05	0,10	<b>0,15</b>	0,20	0,25	0,30
$hw/h$	5,50	7,00	<b>7,80</b>	7,50	7,00	6,60

Dipilih  $D_p/D_t$  0,15 (Karena menghasilkan perpindahan panas yang paling besar) Dimana,

Jenis : Metal

Ukuran : D = 0,73 cm

L = 0,7 cm

$$\begin{aligned} \text{Density} &= 1,59 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Bulk density} &= 1,2 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Dp} &= 0,73 \text{ cm} \\ \text{Dp/Dt} &= 0,15 \\ \text{Dt} &= 4,86667 \text{ cm} = 1,9160 \text{ in} \end{aligned}$$

Jenis Tube	Steel Pipe					
IPS	2	in	5,08	cm	0,0508	m
OD	2,38	in	6,0452	cm	0,0605	m
ID	2,067	in	5,250	cm	0,0525	m
Flow area per tube	3,35	in <sup>2</sup>	21,61	cm <sup>2</sup>	0,0022	m <sup>2</sup>
Sc.Num	40	ft				
Surface per lin ft (Outside)	0,622	ft <sup>2</sup> /ft				
Surface per lin ft (Inside)	0,542	ft <sup>2</sup> /ft				

Aliran dalam pipa adalah aliran transisi, maka  $Nre = 4500$

$$NRe = \frac{Gt \cdot Dt}{\mu} \quad (13)$$

$$NRe = 4500 \quad (\text{Nilai Re yg biasa dipakai di fase gas})$$

$$\mu = 0,03606 \text{ kg/m.jam}$$

$$Dt = 0,053 \text{ m}$$

$$G \text{ (umpan total)} = 2776,0425 \text{ kg/jam}$$

$$= 771,1229141 \text{ gr/detik}$$

$$= 771,1229141$$

$$Gt = \frac{\mu \cdot NRe}{Dt} \quad (14)$$

$$Gt = 2988,1788 \text{ kg/m}^2.\text{jam} = 0,08300 \text{ g/cm}^2.\text{s}$$

$$At = \frac{G}{Gt} \quad (15)$$

$$At = 0,929 \text{ m}^2$$

$$Ao = \frac{\pi}{4} ID^2 \quad (16)$$

$$Ao = 0,00216 \text{ m}^2 = 21,638046 \text{ cm}^2$$

$$Nt \text{ max} = \frac{At}{Ao} \quad (17)$$

$$Nt = (\text{jumlah pipa}) \text{ max}$$

$$Nt \text{ max} = 429,3401 \text{ buah}$$

$$\rho_s = 1,59 \text{ gr/cm}^3$$

$$P = 1 \text{ tm}$$

$$BM = 57,6783 \text{ g/gmol}$$

$$R = 82,05 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm/gmol} \cdot \text{K}$$

$$T_{\text{udara}} = 303 \text{ K}$$

$$\rho_g = 0,1548 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{udara}} = \frac{P_{\text{udara}} \cdot BM_{\text{udara}}}{R \cdot T_{\text{udara}}} \quad (18)$$

$$\rho_{\text{udara}} = 0,002363682 \text{ g/cm}^3$$

**Katalis:**

$$\text{Bentuk} = \text{Granule}$$

$$Re = 4500$$

$$Fd = 0,014$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{4(\rho_b - \rho_g)g \cdot Dp}{3 \cdot \rho_g \cdot f_D}} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} V_{max} &= 67,8225331 \text{ cm/det} \\ &= 2441,611192 \text{ m/jam} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{G}{\rho_g} \quad (20)$$

$$Q = 4981,013883 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$At = \frac{Q}{V_{max}} \quad (21)$$

$$At = 73,44187 \text{ cm}^2$$

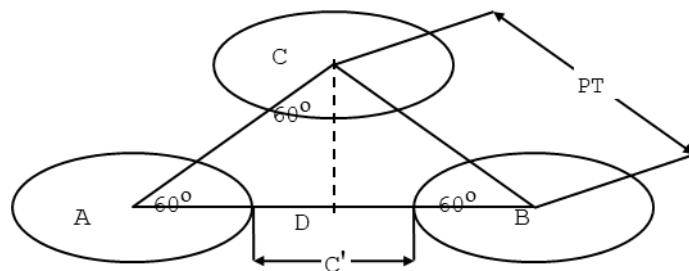
$$Nt \text{ min} = \frac{At}{A_o} \quad (22)$$

$$Nt \text{ min} = 3,3941 \text{ buah}$$

$$\text{ambil } Nt = 350 \text{ buah}$$

## 11. Menentukan Diameter Reaktor

Pipe (tube) disusun dengan pola 'triangular pitch atau susunan segitiga' agar turbulensi yang terjadi pada aliran fluida dalam shell menjadi besar, sehingga memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi ( $h_o$ ). Sehingga, transfer panas lebih baik dari pada susunan square pitch atau susunan persegi.



Susunan tube = triangular

Pitch tube (PT) = 1.25 x ODt 2,975 in = 7,5565 cm

Clearance (C') = PT - ODt 0,595 in = 1,5113 cm

Untuk menghitung diameter shell, di cari luas penampang shell total (A total)

Luas Shell = Luas Segitiga

$$A_{total} = 2 \cdot Nt \cdot \text{Luas segitiga } ABC \quad (23)$$

$$\frac{\pi}{4} \times ID_s^2 = 2 \cdot Nt \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot PT^2 \cdot \sin 60 \right) \quad (24)$$

$$\frac{\pi}{4} \times ID_s^2 = 2 \cdot Nt \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot PT^2 \cdot 0,866 \right) \quad (25)$$

$$ID_s = \sqrt{\frac{4Nt \cdot Pt^2 \cdot 0,866}{\pi}} \quad (26)$$

IDs = 148,48372 cm

= 1,48484 m

= 58,45819 in

## 12. Menentukan Cp Pendingin

Jenis = Air

T = 303 K = 30°C

P = 0,101325027 mPa = 1 atm

	K	C	F
T in	393,15	120	248,0
T out	393,15	120	248,0
<b>delta T</b>	393	120	248

$$C_{pp} = 0,1152 + (0,0003402 \times T)$$

$$C_{pp} = 0,2489 \text{ kal/gr.K}$$

$$= 0,4485 \text{ Btu/lb.K}$$

$$= 0,0005 \text{ Btu/gr.K}$$

$$= 1,0421 \text{ J/gr.K}$$

### 13. Menentukan Densitas Pendingin pada $T_{in}$

$$\rho_p = \frac{Kp = 1.3644 - (9.7073 \times 10^{-4} \times Tin)}{0,982757501 \text{ gr/cm}^3} \quad (27)$$

### 14. Menentukan Konduktivitas Thermal Pendingin pada $T_{in}$

$$K_p = \frac{Kp = 1.512 - 0.0010387 \times Tin}{1,1036 \text{ kal/cm jam K}} \quad (28)$$

$$= 0,4621 \text{ kJ/m.jam.K}$$

$$= 1,1388 \text{ Btu/ft.jam.F}$$

### 15. Menentukan Viskositas Pendingin pada $T_{in}$

$$\mu_p = \frac{\mu_p = 35.5898 - 0.04212 \times Tin}{19,030322 \text{ gr/cm jam}} \quad (29)$$

$$= 0,005286201 \text{ gr/cm det}$$

$$= 1,9030322 \text{ kg/m.jam}$$

$$= 1,278777035 \text{ lb/ft.jam}$$

## 16. Menentukan Pendingin yang Dibutuhkan

$$T_{in} = 120,00^{\circ}\text{C} = 393,15 \text{ K} = 248^{\circ}\text{F}$$

$$T_{out} = 120,00^{\circ}\text{C} = 393,15 \text{ K} = 248^{\circ}\text{F}$$

$$C_p \text{ Air} = 0,2489 \text{ Kal/gr.K}$$

$$Q_h = 2.100.783,82 \text{ kkal/jam}$$

$$= 2.100.783.820,20 \text{ kal/jam}$$

$$= 8789679504 \text{ Kj/jam}$$

$$W_p = \frac{Q_H}{C_p \cdot \Delta T} \quad (30)$$

$$W_p = 21464046,41 \text{ gr/jam}$$

$$= 21464,04641 \text{ kg/jam}$$

$$= 5,962235115 \text{ kg/s}$$

$$= 169995247,6 \text{ kg/tahun}$$

## 17. Menentukan Koefisien Perpindahan Panas Overall (Ud)

### d) Tube Side

$$C_p = 112,31377 \text{ kj/kmol.K}$$

$$= 9911,85085 \text{ kj/kg.K}$$

$$= 2367,40593 \text{ Btu/lb.F}$$

$$\mu = 0,000097 \text{ g/cm.s}$$

$$= 0,02343 \text{ lb/ft.h}$$

$$k = 0,14211 \text{ W/m.k}$$

$$= 0,08211 \text{ Btu/ft.h.F}$$

$$PR = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (31)$$

$$PR = 675,4430$$

$$Gt = 0,08300 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{dtk}$$

$$Dt = 5,250 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{G \cdot Dt}{\mu} \quad (32)$$

$$Re = 4500$$

$$jH = 15 \quad \text{Sumber : Gam. 24 Kern Halaman 834}$$

$$hi = jH \cdot \left( \frac{k}{IDt} \right) \cdot Pr^{1/3} \quad (33)$$

$$hi = 62,74042 \text{ btu/jam.ft} \cdot F$$

$$hio = hi \times \frac{ID}{OD} \quad (34)$$

$$hio = 54,48927 \text{ btu/jam.ft}^2 \cdot F$$

#### e) Shell Side

Didalam shell digunakan pemanas dengan spesifikasi berikut:

sifat fisis pemanas → liquid

$$T = 393,15 \text{ K}$$

$$\mu_s = 19,030322 \text{ gr/cm.jam}$$

$$= 0,005286201 \text{ gr/cm.det}$$

$$= 1,278777035 \text{ lb/ft.jam}$$

CPs:

$$T = 393,15 \text{ K}$$

$$CPs = 0,2489 \text{ Cal/gr.K}$$

$$= 114,7866797 \text{ btu/lb.F}$$

$$= 1,0421 \text{ J/gr.K}$$



$K_s :$

$$T = 393,15 \text{ K}$$

$$K_s = 1,1388 \text{ Btu/ft.jam.F}$$

$$C_p = 114,7866797 \text{ Btu/lb.F}$$

$$\mu_s = 1,278777035 \text{ lb/ft.jam}$$

$$K_s = 1,1388 \text{ Btu/ft.jam.F}$$

Menghitung bilangan Reynold di Shell (Res)

$$ID_s \text{ (diameter dalam shell)} = 58,45819 \text{ in}$$

$$B \text{ (baffle Spacing)} = 43,84364 \text{ in}$$

$$PT \text{ (Pitch Tube)} = 2,975 \text{ in}$$

$$C' \text{ (jarak antar tube)} = 0,595 \text{ in}$$

$$W_s \text{ (Laju aliran pemanas)} = 21464,04641 \text{ kg/jam}$$

$$= 47320,066 \text{ lb/jam}$$

$$a_s = \frac{ID_s \cdot C' \cdot B}{144 \cdot PT} \quad (35)$$

$$a_s \text{ (flow area pada shell)} = 3,55975 \text{ in}^2 = 0,024720 \text{ ft}^2$$

$$G_s = \frac{W_s}{a_s} \quad (36)$$

$$G_s \text{ (Mass velocity fluida dalam shell)} = 6029,650547 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{h}$$

$$D_e \text{ (Diameter Equivalen)} = 1,72247 \text{ in}$$

$$= 0,14353 \text{ ft}$$

$$= 4,37507 \text{ cm}$$

$$Re_s = \frac{Gs \cdot De}{\mu_s} \quad (37)$$

$$Res = 8121,729397$$

$$jH = 13 \quad (\text{Sources : fig. 28 Kern, Page 838})$$

$$h_o = jH \left( \frac{Ks}{De} \right) \left( \frac{Cp_s \cdot \mu_s}{k_s} \right)^{1/3} \quad (38)$$

$$ho = 521,0260408 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$$

#### f) Clean Overall Coefficient (Uc)

$$Uc = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} \quad (39)$$

$$Uc = 49,33027 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$$

### 18. Menentukan Rd (Dirty Factor)

Dari Grafik didapatkan

$$Rd \text{ Shell} = 0,00390 \quad \text{Sources : Gambar 29, Kern, Halaman 839}$$

$$Rd \text{ Tube} = 0,00036 \quad \text{Gambar : Gambar. 26, Kern, Halaman 836}$$

$$Rd = Rd \text{ Shell} + Rd \text{ Tube}$$

$$= 0,00426 \text{ hr.ft}^2.\text{F/Btu}$$

$$Ud = \frac{1}{Rd + \frac{1}{Uc}} \quad (40)$$

$$Ud = 40,76387 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$$

$$= 199,00921 \text{ kkal/jam.m}^2.\text{K}$$

$$= 833,21139 \text{ kj/jam.m}^2.\text{K}$$

## 19. Menghitung Panjang Reaktor

Persamaan neraca massa pada elemen volume

$$\frac{dX}{dZ} = \frac{(-r_A) \cdot N_t \cdot \pi \cdot (IDt)^2}{4 \cdot F_{A0}} \quad (41)$$

Persamaan neraca panas pada elemen volume

$$\frac{dT}{dZ} = \frac{(-\Delta H_R) \cdot F_{A0} \cdot \frac{dX}{dZ} - U_d \cdot \pi \cdot ODt \cdot N_t \cdot (T - T_p)}{\sum F_i \cdot C_{pi}} \quad (42)$$

Persamaan neraca panas pemanas

$$\frac{dT_s}{dZ} = \frac{U_d \cdot \pi \cdot ODt \cdot N_t \cdot (T - T_s)}{W_p \cdot C_{p_p}} \quad (43)$$

Persamaan pressure drop

$$\frac{dP}{dZ} = \frac{Gt}{\rho \cdot g_c \cdot Dp} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)}{(\varepsilon)^3} \cdot \left( \frac{150 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \mu}{Dp} + 1,75 \cdot Gt \right) \quad (44)$$

$$(-r_A) = k_o \cdot \exp\left(\frac{-Ea}{R \cdot T}\right) \cdot \frac{F_{A0} \cdot (1 - x)}{F_{T0}} \quad (45)$$

Pendekatan menghitung Pressure Drop dengan menggunakan Ergun Equation

$$\sum F_i \cdot C_{pi} = [F_{A0} \cdot (1 - x) \cdot C_{PA}] + \left[ \left( F_{B0} + \frac{1}{2} \cdot F_{A0} \cdot x \right) \cdot (C_{PB}) \right] + \left[ \left( F_{C0} + \frac{1}{2} \cdot F_{A0} \cdot x \right) \cdot (C_{PC}) \right] \quad (46)$$

$\Delta z$	0,10											
<b>z (m)</b>	<b>x</b>	<b>T (K)</b>	<b>Ts (K)</b>	$\int \Delta CP \cdot dT$	<b>(-<math>\Delta HR</math>)</b>	<b>P (atm)</b>	<b>ra, Kmol/ m<sup>3</sup>jam</b>	<b>dx/dz</b>	<b>dT/dz</b>	<b>dTs/dz</b>	<b>dP/dz</b>	<b>Fi.Cpi</b>
0,0	0,00	393,15	393,15	115080,5116	44469,84	1	5,71E-02	9,16E-04	4,79E-05	0,00E+00	1,64E-10	4,02E+07
0,1	0,0091567	393,1500048	393,1500000	115080,5168	44469,84	1	5,66E-02	9,07E-04	4,67E-05	1,18E-05	1,77E-10	4,08E+07
0,2	0,0182295	393,1500095	393,1500012	115080,5219	44469,84	1	5,61E-02	8,99E-04	4,56E-05	2,05E-05	1,76E-10	4,14E+07
0,3	0,0272193	393,1500140	393,1500032	115080,5268	44469,84	1	5,56E-02	8,91E-04	4,45E-05	2,67E-05	1,76E-10	4,20E+07
0,4	0,0361268	393,1500185	393,1500059	115080,5316	44469,84	1	5,51E-02	8,83E-04	4,35E-05	3,11E-05	1,75E-10	4,26E+07
0,5	0,0449526	393,1500228	393,1500090	115080,5363	44469,84	1	5,45E-02	8,75E-04	4,25E-05	3,42E-05	1,74E-10	4,32E+07
0,6	0,0536977	393,1500271	393,1500124	115080,5409	44469,84	1	5,41E-02	8,66E-04	4,16E-05	3,62E-05	1,73E-10	4,38E+07
0,7	0,0623627	393,1500312	393,1500161	115080,5454	44469,84	1	5,36E-02	8,59E-04	4,07E-05	3,76E-05	1,72E-10	4,43E+07
0,8	0,0709484	393,1500353	393,1500198	115080,5498	44469,84	1	5,31E-02	8,51E-04	3,98E-05	3,83E-05	1,72E-10	4,49E+07
0,9	0,0794554	393,1500393	393,1500236	115080,5541	44469,84	1	5,26E-02	8,43E-04	3,89E-05	3,87E-05	1,71E-10	4,55E+07
1,0	0,0878846	393,1500432	393,1500275	115080,5584	44469,84	1	5,21E-02	8,35E-04	3,81E-05	3,87E-05	1,70E-10	4,60E+07
1,1	0,0962365	393,1500470	393,1500314	115080,5625	44469,84	1	5,16E-02	8,28E-04	3,73E-05	3,86E-05	1,69E-10	4,66E+07
1,2	0,1045120	393,1500507	393,1500352	115080,5665	44469,84	1	5,11E-02	8,20E-04	3,65E-05	3,83E-05	1,69E-10	4,71E+07
1,3	0,1127117	393,1500544	393,1500391	115080,5705	44469,84	1	5,07E-02	8,12E-04	3,58E-05	3,78E-05	1,68E-10	4,77E+07
1,4	0,1208363	393,1500579	393,1500429	115080,5743	44469,84	1	5,02E-02	8,05E-04	3,50E-05	3,73E-05	1,67E-10	4,82E+07

1,5	0,1288866	393,1500614	393,1500466	115080,5781	44469,84	1	4,98E-02	7,98E-04	3,43E-05	3,68E-05	1,66E-10	4,88E+07
1,6	0,1368631	393,1500649	393,1500503	115080,5819	44469,84	1	4,93E-02	7,90E-04	3,37E-05	3,62E-05	1,66E-10	4,93E+07
1,7	0,1447666	393,1500682	393,1500539	115080,5855	44469,84	1	4,88E-02	7,83E-04	3,30E-05	3,55E-05	1,65E-10	4,98E+07
1,8	0,1525977	393,1500715	393,1500574	115080,5891	44469,84	1	4,84E-02	7,76E-04	3,24E-05	3,49E-05	1,64E-10	5,03E+07
1,9	0,1603571	393,1500748	393,1500609	115080,5926	44469,84	1	4,80E-02	7,69E-04	3,17E-05	3,43E-05	1,64E-10	5,09E+07
2,0	0,1680454	393,1500780	393,1500644	115080,5960	44469,84	1	4,75E-02	7,62E-04	3,11E-05	3,37E-05	1,63E-10	5,14E+07
2,1	0,1756634	393,1500811	393,1500677	115080,5994	44469,84	1	4,71E-02	7,55E-04	3,06E-05	3,30E-05	1,62E-10	5,19E+07
2,2	0,1832116	393,1500841	393,1500710	115080,6027	44469,84	1	4,67E-02	7,48E-04	3,00E-05	3,24E-05	1,62E-10	5,24E+07
2,3	0,1906906	393,1500871	393,1500743	115080,6059	44469,84	1	4,62E-02	7,41E-04	2,94E-05	3,18E-05	1,61E-10	5,29E+07
2,4	0,1981012	393,1500901	393,1500774	115080,6091	44469,84	1	4,58E-02	7,34E-04	2,89E-05	3,12E-05	1,60E-10	5,34E+07
2,5	0,2054440	393,1500930	393,1500806	115080,6122	44469,84	1	4,54E-02	7,28E-04	2,84E-05	3,06E-05	1,60E-10	5,39E+07
2,6	0,2127195	393,1500958	393,1500836	115080,6153	44469,84	1	4,50E-02	7,21E-04	2,79E-05	3,01E-05	1,59E-10	5,43E+07
2,7	0,2199284	393,1500986	393,1500866	115080,6183	44469,84	1	4,46E-02	7,14E-04	2,74E-05	2,95E-05	1,58E-10	5,48E+07
2,8	0,2270712	393,1501013	393,1500896	115080,6213	44469,84	1	4,41E-02	7,08E-04	2,69E-05	2,90E-05	1,58E-10	5,53E+07
2,9	0,2341487	393,1501040	393,1500925	115080,6242	44469,84	1	4,37E-02	7,01E-04	2,64E-05	2,85E-05	1,57E-10	5,58E+07
3,0	0,2411614	393,1501066	393,1500953	115080,6271	44469,84	1	4,33E-02	6,95E-04	2,59E-05	2,80E-05	1,57E-10	5,62E+07
3,1	0,2481098	393,1501092	393,1500981	115080,6299	44469,84	1	4,29E-02	6,88E-04	2,55E-05	2,75E-05	1,56E-10	5,67E+07

3,2	0,2549947	393,1501118	393,1501009	115080,6326	44469,84	1	4,26E-02	6,82E-04	2,51E-05	2,70E-05	1,55E-10	5,72E+07
3,3	0,2618164	393,1501143	393,1501036	115080,6353	44469,84	1	4,22E-02	6,76E-04	2,46E-05	2,65E-05	1,55E-10	5,76E+07
3,4	0,2685758	393,1501168	393,1501062	115080,6380	44469,84	1	4,18E-02	6,70E-04	2,42E-05	2,60E-05	1,54E-10	5,81E+07
3,5	0,2752732	393,1501192	393,1501088	115080,6406	44469,84	1	4,14E-02	6,64E-04	2,38E-05	2,56E-05	1,53E-10	5,85E+07
3,6	0,2819093	393,1501216	393,1501114	115080,6432	44469,84	1	4,10E-02	6,58E-04	2,34E-05	2,52E-05	1,53E-10	5,89E+07
3,7	0,2884846	393,1501239	393,1501139	115080,6458	44469,84	1	4,06E-02	6,52E-04	2,30E-05	2,47E-05	1,52E-10	5,94E+07
3,8	0,2949998	393,1501262	393,1501164	115080,6482	44469,84	1	4,03E-02	6,46E-04	2,27E-05	2,43E-05	1,52E-10	5,98E+07
3,9	0,3014552	393,1501285	393,1501188	115080,6507	44469,84	1	3,99E-02	6,40E-04	2,23E-05	2,39E-05	1,51E-10	6,02E+07
4,0	0,3078516	393,1501307	393,1501212	115080,6531	44469,84	1	3,95E-02	6,34E-04	2,19E-05	2,35E-05	1,51E-10	6,07E+07
4,1	0,3141894	393,1501329	393,1501236	115080,6555	44469,84	1	3,92E-02	6,28E-04	2,16E-05	2,31E-05	1,50E-10	6,11E+07
4,2	0,3204691	393,1501351	393,1501259	115080,6578	44469,84	1	3,88E-02	6,22E-04	2,12E-05	2,27E-05	1,49E-10	6,15E+07
4,3	0,3266914	393,1501372	393,1501281	115080,6601	44469,84	1	3,85E-02	6,17E-04	2,09E-05	2,24E-05	1,49E-10	6,19E+07
4,4	0,3328567	393,1501393	393,1501304	115080,6624	44469,84	1	3,81E-02	6,11E-04	2,06E-05	2,20E-05	1,48E-10	6,23E+07
4,5	0,3389655	393,1501413	393,1501326	115080,6646	44469,84	1	3,78E-02	6,05E-04	2,03E-05	2,17E-05	1,48E-10	6,27E+07
4,6	0,3450184	393,1501434	393,1501347	115080,6668	44469,84	1	3,74E-02	6,00E-04	1,99E-05	2,13E-05	1,47E-10	6,31E+07
4,7	0,3510159	393,1501453	393,1501369	115080,6690	44469,84	1	3,71E-02	5,94E-04	1,96E-05	2,10E-05	1,47E-10	6,35E+07
4,8	0,3569584	393,1501473	393,1501390	115080,6711	44469,84	1	3,67E-02	5,89E-04	1,93E-05	2,06E-05	1,46E-10	6,39E+07

4,9	0,3628465	393,1501492	393,1501410	115080,6732	44469,84	1	3,64E-02	5,83E-04	1,90E-05	2,03E-05	1,46E-10	6,43E+07
5,0	0,3686808	393,1501512	393,1501431	115080,6753	44469,84	1	3,61E-02	5,78E-04	1,88E-05	2,00E-05	1,45E-10	6,47E+07
5,1	0,3744616	393,1501530	393,1501451	115080,6773	44469,84	1	3,57E-02	5,73E-04	1,85E-05	1,97E-05	1,45E-10	6,51E+07
5,2	0,3801894	393,1501549	393,1501470	115080,6793	44469,84	1	3,54E-02	5,68E-04	1,82E-05	1,94E-05	1,44E-10	6,55E+07
5,3	0,3858648	393,1501567	393,1501490	115080,6813	44469,84	1	3,51E-02	5,62E-04	1,79E-05	1,91E-05	1,44E-10	6,59E+07
5,4	0,3914883	393,1501585	393,1501509	115080,6832	44469,84	1	3,48E-02	5,57E-04	1,77E-05	1,88E-05	1,43E-10	6,62E+07
5,5	0,3970602	393,1501603	393,1501528	115080,6851	44469,84	1	3,44E-02	5,52E-04	1,74E-05	1,85E-05	1,43E-10	6,66E+07
5,6	0,4025812	393,1501620	393,1501546	115080,6870	44469,84	1	3,41E-02	5,47E-04	1,72E-05	1,83E-05	1,42E-10	6,70E+07
5,7	0,4080515	393,1501637	393,1501564	115080,6888	44469,84	1	3,38E-02	5,42E-04	1,69E-05	1,80E-05	1,42E-10	6,73E+07
5,8	0,4134718	393,1501654	393,1501582	115080,6907	44469,84	1	3,35E-02	5,37E-04	1,67E-05	1,77E-05	1,41E-10	6,77E+07
5,9	0,4188425	393,1501671	393,1501600	115080,6925	44469,84	1	3,32E-02	5,32E-04	1,64E-05	1,75E-05	1,41E-10	6,80E+07
6,0	0,4241640	393,1501687	393,1501618	115080,6943	44469,84	1	3,29E-02	5,27E-04	1,62E-05	1,72E-05	1,40E-10	6,84E+07
6,1	0,4294367	393,1501703	393,1501635	115080,6960	44469,84	1	3,26E-02	5,22E-04	1,60E-05	1,69E-05	1,40E-10	6,88E+07
6,2	0,4346612	393,1501719	393,1501652	115080,6977	44469,84	1	3,23E-02	5,18E-04	1,57E-05	1,67E-05	1,39E-10	6,91E+07
6,3	0,4398378	393,1501735	393,1501668	115080,6994	44469,84	1	3,20E-02	5,13E-04	1,55E-05	1,65E-05	1,39E-10	6,94E+07
6,4	0,4449671	393,1501751	393,1501685	115080,7011	44469,84	1	3,17E-02	5,08E-04	1,53E-05	1,62E-05	1,38E-10	6,98E+07
6,5	0,4500493	393,1501766	393,1501701	115080,7028	44469,84	1	3,14E-02	5,04E-04	1,51E-05	1,60E-05	1,38E-10	7,01E+07

6,6	0,4550851	393,1501781	393,1501717	115080,7044	44469,84	1	3,11E-02	4,99E-04	1,49E-05	1,58E-05	1,37E-10	7,05E+07
6,7	0,4600747	393,1501796	393,1501733	115080,7060	44469,84	1	3,08E-02	4,94E-04	1,47E-05	1,55E-05	1,37E-10	7,08E+07
6,8	0,4650186	393,1501810	393,1501748	115080,7076	44469,84	1	3,06E-02	4,90E-04	1,45E-05	1,53E-05	1,37E-10	7,11E+07
6,9	0,4699173	393,1501825	393,1501764	115080,7092	44469,84	1	3,03E-02	4,85E-04	1,43E-05	1,51E-05	1,36E-10	7,14E+07
7,0	0,4747711	393,1501839	393,1501779	115080,7107	44469,84	1	3,00E-02	4,81E-04	1,41E-05	1,49E-05	1,36E-10	7,18E+07
7,1	0,4795804	393,1501853	393,1501794	115080,7122	44469,84	1	2,97E-02	4,77E-04	1,39E-05	1,47E-05	1,35E-10	7,21E+07
7,2	0,4843458	393,1501867	393,1501809	115080,7137	44469,84	1	2,95E-02	4,72E-04	1,37E-05	1,45E-05	1,35E-10	7,24E+07
7,3	0,4890675	393,1501881	393,1501823	115080,7152	44469,84	1	2,92E-02	4,68E-04	1,35E-05	1,43E-05	1,34E-10	7,27E+07
7,4	0,4937459	393,1501894	393,1501837	115080,7167	44469,84	1	2,89E-02	4,64E-04	1,33E-05	1,41E-05	1,34E-10	7,30E+07
7,5	0,4983815	393,1501908	393,1501851	115080,7181	44469,84	1	2,87E-02	4,59E-04	1,32E-05	1,39E-05	1,34E-10	7,33E+07
7,6	0,5029747	393,1501921	393,1501865	115080,7196	44469,84	1	2,84E-02	4,55E-04	1,30E-05	1,37E-05	1,33E-10	7,36E+07
7,7	0,5075258	393,1501934	393,1501879	115080,7210	44469,84	1	2,81E-02	4,51E-04	1,28E-05	1,35E-05	1,33E-10	7,39E+07
7,8	0,5120352	393,1501947	393,1501893	115080,7224	44469,84	1	2,79E-02	4,47E-04	1,26E-05	1,34E-05	1,32E-10	7,42E+07
7,9	0,5165034	393,1501959	393,1501906	115080,7237	44469,84	1	2,76E-02	4,43E-04	1,25E-05	1,32E-05	1,32E-10	7,45E+07
8,0	0,5209306	393,1501972	393,1501919	115080,7251	44469,84	1	2,74E-02	4,39E-04	1,23E-05	1,30E-05	1,32E-10	7,48E+07
8,1	0,5253173	393,1501984	393,1501932	115080,7264	44469,84	1	2,71E-02	4,35E-04	1,22E-05	1,28E-05	1,31E-10	7,51E+07
8,2	0,5296638	393,1501996	393,1501945	115080,7277	44469,84	1	2,69E-02	4,31E-04	1,20E-05	1,27E-05	1,31E-10	7,54E+07



8,3	0,5339706	393,1502008	393,1501958	115080,7290	44469,84	1	2,66E-02	4,27E-04	1,18E-05	1,25E-05	1,30E-10	7,57E+07
8,4	0,5382378	393,1502020	393,1501970	115080,7303	44469,84	1	2,64E-02	4,23E-04	1,17E-05	1,23E-05	1,30E-10	7,60E+07
8,5	0,5424661	393,1502032	393,1501982	115080,7316	44469,84	1	2,61E-02	4,19E-04	1,15E-05	1,22E-05	1,30E-10	7,63E+07
8,6	0,5466556	393,1502043	393,1501995	115080,7328	44469,84	1	2,59E-02	4,15E-04	1,14E-05	1,20E-05	1,29E-10	7,65E+07
8,7	0,5508067	393,1502055	393,1502007	115080,7340	44469,84	1	2,57E-02	4,11E-04	1,12E-05	1,19E-05	1,29E-10	7,68E+07
8,8	0,5549198	393,1502066	393,1502019	115080,7353	44469,84	1	2,54E-02	4,08E-04	1,11E-05	1,17E-05	1,29E-10	7,71E+07
8,9	0,5589953	393,1502077	393,1502030	115080,7365	44469,84	1	2,52E-02	4,04E-04	1,10E-05	1,16E-05	1,28E-10	7,74E+07
9,0	0,5630334	393,1502088	393,1502042	115080,7377	44469,84	1	2,50E-02	4,00E-04	1,08E-05	1,14E-05	1,28E-10	7,76E+07
9,1	0,5670346	393,1502099	393,1502053	115080,7388	44469,84	1	2,47E-02	3,96E-04	1,07E-05	1,13E-05	1,28E-10	7,79E+07
9,2	0,5709991	393,1502109	393,1502064	115080,7400	44469,84	1	2,45E-02	3,93E-04	1,06E-05	1,11E-05	1,27E-10	7,82E+07
9,3	0,5749274	393,1502120	393,1502076	115080,7411	44469,84	1	2,43E-02	3,89E-04	1,04E-05	1,10E-05	1,27E-10	7,84E+07
9,4	0,5788196	393,1502130	393,1502087	115080,7423	44469,84	1	2,41E-02	3,86E-04	1,03E-05	1,08E-05	1,26E-10	7,87E+07
9,5	0,5826762	393,1502141	393,1502097	115080,7434	44469,84	1	2,38E-02	3,82E-04	1,02E-05	1,07E-05	1,26E-10	7,89E+07
9,6	0,5864975	393,1502151	393,1502108	115080,7445	44469,84	1	2,36E-02	3,79E-04	1,00E-05	1,06E-05	1,26E-10	7,92E+07
9,7	0,5902839	393,1502161	393,1502119	115080,7456	44469,84	1	2,34E-02	3,75E-04	9,92E-06	1,04E-05	1,25E-10	7,94E+07
9,8	0,5940355	393,1502171	393,1502129	115080,7466	44469,84	1	2,32E-02	3,72E-04	9,80E-06	1,03E-05	1,25E-10	7,97E+07
9,9	0,5977528	393,1502181	393,1502139	115080,7477	44469,84	1	2,30E-02	3,68E-04	9,68E-06	1,02E-05	1,25E-10	7,99E+07

10,0	0,6014361	393,1502190	393,1502150	115080,7487	44469,84	1	2,28E-02	3,65E-04	9,56E-06	1,01E-05	1,24E-10	8,02E+07
10,1	0,6050856	393,1502200	393,1502160	115080,7498	44469,84	1	2,26E-02	3,62E-04	9,44E-06	9,93E-06	1,24E-10	8,04E+07
10,2	0,6087017	393,1502209	393,1502170	115080,7508	44469,84	1	2,23E-02	3,58E-04	9,33E-06	9,81E-06	1,24E-10	8,07E+07
10,3	0,6122847	393,1502219	393,1502179	115080,7518	44469,84	1	2,21E-02	3,55E-04	9,22E-06	9,69E-06	1,23E-10	8,09E+07
10,4	0,6158349	393,1502228	393,1502189	115080,7528	44469,84	1	2,19E-02	3,52E-04	9,10E-06	9,57E-06	1,23E-10	8,11E+07
10,5	0,6193526	393,1502237	393,1502199	115080,7538	44469,84	1	2,17E-02	3,49E-04	8,99E-06	9,46E-06	1,23E-10	8,14E+07
10,6	0,6228380	393,1502246	393,1502208	115080,7548	44469,84	1	2,15E-02	3,45E-04	8,89E-06	9,34E-06	1,23E-10	8,16E+07
10,7	0,6262916	393,1502255	393,1502218	115080,7557	44469,84	1	2,13E-02	3,42E-04	8,78E-06	9,23E-06	1,22E-10	8,18E+07
10,8	0,6297135	393,1502264	393,1502227	115080,7567	44469,84	1	2,11E-02	3,39E-04	8,68E-06	9,12E-06	1,22E-10	8,21E+07
10,9	0,6331041	393,1502272	393,1502236	115080,7576	44469,84	1	2,10E-02	3,36E-04	8,57E-06	9,01E-06	1,22E-10	8,23E+07
11,0	0,6364637	393,1502281	393,1502245	115080,7585	44469,84	1	2,08E-02	3,33E-04	8,47E-06	8,90E-06	1,21E-10	8,25E+07
11,1	0,6397925	393,1502289	393,1502254	115080,7595	44469,84	1	2,06E-02	3,30E-04	8,37E-06	8,80E-06	1,21E-10	8,27E+07
11,2	0,6430908	393,1502298	393,1502263	115080,7604	44469,84	1	2,04E-02	3,27E-04	8,27E-06	8,69E-06	1,21E-10	8,30E+07
11,3	0,6463589	393,1502306	393,1502271	115080,7613	44469,84	1	2,02E-02	3,24E-04	8,18E-06	8,59E-06	1,20E-10	8,32E+07
11,4	0,6495971	393,1502314	393,1502280	115080,7621	44469,84	1	2,00E-02	3,21E-04	8,08E-06	8,49E-06	1,20E-10	8,34E+07
11,5	0,6528056	393,1502322	393,1502288	115080,7630	44469,84	1	1,98E-02	3,18E-04	7,99E-06	8,39E-06	1,20E-10	8,36E+07
11,6	0,6559848	393,1502330	393,1502297	115080,7639	44469,84	1	1,96E-02	3,15E-04	7,89E-06	8,29E-06	1,20E-10	8,38E+07

11,7	0,6591348	393,1502338	393,1502305	115080,7647	44469,84	1	1,95E-02	3,12E-04	7,80E-06	8,19E-06	1,19E-10	8,40E+07
11,8	0,6622560	393,1502346	393,1502313	115080,7656	44469,84	1	1,93E-02	3,09E-04	7,71E-06	8,09E-06	1,19E-10	8,42E+07
11,9	0,6653486	393,1502354	393,1502321	115080,7664	44469,84	1	1,91E-02	3,06E-04	7,62E-06	8,00E-06	1,19E-10	8,44E+07
12,0	0,6684129	393,1502361	393,1502329	115080,7672	44469,84	1	1,89E-02	3,04E-04	7,53E-06	7,91E-06	1,18E-10	8,46E+07
12,1	0,6714492	393,1502369	393,1502337	115080,7681	44469,84	1	1,88E-02	3,01E-04	7,45E-06	7,81E-06	1,18E-10	8,48E+07
12,2	0,6744576	393,1502376	393,1502345	115080,7689	44469,84	1	1,86E-02	2,98E-04	7,36E-06	7,72E-06	1,18E-10	8,50E+07
12,3	0,6774385	393,1502384	393,1502353	115080,7697	44469,84	1	1,84E-02	2,95E-04	7,28E-06	7,63E-06	1,18E-10	8,52E+07
12,4	0,6803921	393,1502391	393,1502360	115080,7704	44469,84	1	1,83E-02	2,93E-04	7,19E-06	7,55E-06	1,17E-10	8,54E+07
12,5	0,6833186	393,1502398	393,1502368	115080,7712	44469,84	1	1,81E-02	2,90E-04	7,11E-06	7,46E-06	1,17E-10	8,56E+07
12,6	0,6862184	393,1502405	393,1502375	115080,7720	44469,84	1	1,79E-02	2,87E-04	7,03E-06	7,37E-06	1,17E-10	8,58E+07
12,7	0,6890916	393,1502412	393,1502383	115080,7728	44469,84	1	1,78E-02	2,85E-04	6,95E-06	7,29E-06	1,17E-10	8,60E+07
12,8	0,6919385	393,1502419	393,1502390	115080,7735	44469,84	1	1,76E-02	2,82E-04	6,87E-06	7,20E-06	1,16E-10	8,62E+07
12,9	0,6947593	393,1502426	393,1502397	115080,7743	44469,84	1	1,74E-02	2,79E-04	6,79E-06	7,12E-06	1,16E-10	8,64E+07
13,0	0,6975543	393,1502433	393,1502404	115080,7750	44469,84	1	1,73E-02	2,77E-04	6,72E-06	7,04E-06	1,16E-10	8,66E+07
13,1	0,7003237	393,1502440	393,1502411	115080,7757	44469,84	1	1,71E-02	2,74E-04	6,64E-06	6,96E-06	1,16E-10	8,68E+07
13,2	0,7030678	393,1502446	393,1502418	115080,7764	44469,84	1	1,70E-02	2,72E-04	6,57E-06	6,88E-06	1,15E-10	8,69E+07
13,3	0,7057867	393,1502453	393,1502425	115080,7771	44469,84	1	1,68E-02	2,69E-04	6,49E-06	6,80E-06	1,15E-10	8,71E+07

13,4	0,7084807	393,1502459	393,1502432	115080,7778	44469,84	1	1,67E-02	2,67E-04	6,42E-06	6,73E-06	1,15E-10	8,73E+07
13,5	0,7111501	393,1502466	393,1502439	115080,7785	44469,84	1	1,65E-02	2,64E-04	6,35E-06	6,65E-06	1,15E-10	8,75E+07
13,6	0,7137950	393,1502472	393,1502445	115080,7792	44469,84	1	1,63E-02	2,62E-04	6,28E-06	6,58E-06	1,14E-10	8,77E+07
13,7	0,7164157	393,1502478	393,1502452	115080,7799	44469,84	1	1,62E-02	2,60E-04	6,21E-06	6,50E-06	1,14E-10	8,78E+07
13,8	0,7190124	393,1502484	393,1502459	115080,7806	44469,84	1	1,60E-02	2,57E-04	6,14E-06	6,43E-06	1,14E-10	8,80E+07
13,9	0,7215853	393,1502491	393,1502465	115080,7812	44469,84	1	1,59E-02	2,55E-04	6,07E-06	6,36E-06	1,14E-10	8,82E+07
14,0	0,7241346	393,1502497	393,1502471	115080,7819	44469,84	1	1,58E-02	2,53E-04	6,00E-06	6,29E-06	1,14E-10	8,83E+07
14,1	0,7266606	393,1502503	393,1502478	115080,7826	44469,84	1	1,56E-02	2,50E-04	5,94E-06	6,22E-06	1,13E-10	8,85E+07
14,2	0,7291635	393,1502509	393,1502484	115080,7832	44469,84	1	1,55E-02	2,48E-04	5,87E-06	6,15E-06	1,13E-10	8,87E+07
14,3	0,7316435	393,1502515	393,1502490	115080,7838	44469,84	1	1,53E-02	2,46E-04	5,81E-06	6,08E-06	1,13E-10	8,88E+07
14,4	0,7341008	393,1502520	393,1502496	115080,7845	44469,84	1	1,52E-02	2,43E-04	5,74E-06	6,01E-06	1,13E-10	8,90E+07
14,5	0,7365355	393,1502526	393,1502502	115080,7851	44469,84	1	1,50E-02	2,41E-04	5,68E-06	5,95E-06	1,12E-10	8,92E+07
14,6	0,7389480	393,1502532	393,1502508	115080,7857	44469,84	1	1,49E-02	2,39E-04	5,62E-06	5,88E-06	1,12E-10	8,93E+07
14,7	0,7413384	393,1502537	393,1502514	115080,7863	44469,84	1	1,48E-02	2,37E-04	5,56E-06	5,82E-06	1,12E-10	8,95E+07
14,8	0,7437068	393,1502543	393,1502520	115080,7869	44469,84	1	1,46E-02	2,35E-04	5,50E-06	5,75E-06	1,12E-10	8,97E+07
14,9	0,7460536	393,1502548	393,1502525	115080,7875	44469,84	1	1,45E-02	2,33E-04	5,44E-06	5,69E-06	1,12E-10	8,98E+07
15,0	0,7483790	393,1502554	393,1502531	115080,7881	44469,84	1	1,44E-02	2,30E-04	5,38E-06	5,63E-06	1,11E-10	9,00E+07

15,1	0,7506830	393,1502559	393,1502537	115080,7887	44469,84	1	1,42E-02	2,28E-04	5,32E-06	5,57E-06	1,11E-10	9,01E+07
15,2	0,7529659	393,1502565	393,1502542	115080,7893	44469,84	1	1,41E-02	2,26E-04	5,26E-06	5,51E-06	1,11E-10	9,03E+07
15,3	0,7552279	393,1502570	393,1502548	115080,7898	44469,84	1	1,40E-02	2,24E-04	5,21E-06	5,45E-06	1,11E-10	9,04E+07
15,4	0,7574692	393,1502575	393,1502553	115080,7904	44469,84	1	1,39E-02	2,22E-04	5,15E-06	5,39E-06	1,11E-10	9,06E+07
15,5	0,7596900	393,1502580	393,1502559	115080,7909	44469,84	1	1,37E-02	2,20E-04	5,09E-06	5,33E-06	1,10E-10	9,07E+07
15,6	0,7618904	393,1502585	393,1502564	115080,7915	44469,84	1	1,36E-02	2,18E-04	5,04E-06	5,27E-06	1,10E-10	9,09E+07
15,7	0,7640707	393,1502590	393,1502569	115080,7920	44469,84	1	1,35E-02	2,16E-04	4,99E-06	5,21E-06	1,10E-10	9,10E+07
15,8	0,7662311	393,1502595	393,1502574	115080,7926	44469,84	1	1,34E-02	2,14E-04	4,93E-06	5,16E-06	1,10E-10	9,11E+07
15,9	0,7683716	393,1502600	393,1502580	115080,7931	44469,84	1	1,32E-02	2,12E-04	4,88E-06	5,10E-06	1,10E-10	9,13E+07
16,0	0,7704926	393,1502605	393,1502585	115080,7936	44469,84	1	1,31E-02	2,10E-04	4,83E-06	5,05E-06	1,09E-10	9,14E+07
16,1	0,7725941	393,1502610	393,1502590	115080,7942	44469,84	1	1,30E-02	2,08E-04	4,78E-06	4,99E-06	1,09E-10	9,16E+07
16,2	0,7746764	393,1502615	393,1502595	115080,7947	44469,84	1	1,29E-02	2,06E-04	4,72E-06	4,94E-06	1,09E-10	9,17E+07
16,3	0,7767396	393,1502619	393,1502600	115080,7952	44469,84	1	1,28E-02	2,04E-04	4,67E-06	4,89E-06	1,09E-10	9,18E+07
16,4	0,7787839	393,1502624	393,1502605	115080,7957	44469,84	1	1,26E-02	2,03E-04	4,63E-06	4,83E-06	1,09E-10	9,20E+07
16,5	0,7808095	393,1502629	393,1502609	115080,7962	44469,84	1	1,25E-02	2,01E-04	4,58E-06	4,78E-06	1,08E-10	9,21E+07
16,6	0,7828166	393,1502633	393,1502614	115080,7967	44469,84	1	1,24E-02	1,99E-04	4,53E-06	4,73E-06	1,08E-10	9,23E+07
16,7	0,7848053	393,1502638	393,1502619	115080,7972	44469,84	1	1,23E-02	1,97E-04	4,48E-06	4,68E-06	1,08E-10	9,24E+07

16,8	0,7867758	393,1502642	393,1502624	115080,7977	44469,84	1	1,22E-02	1,95E-04	4,43E-06	4,63E-06	1,08E-10	9,25E+07
16,9	0,7887282	393,1502647	393,1502628	115080,7982	44469,84	1	1,21E-02	1,93E-04	4,39E-06	4,58E-06	1,08E-10	9,26E+07
17,0	0,7906627	393,1502651	393,1502633	115080,7986	44469,84	1	1,20E-02	1,92E-04	4,34E-06	4,53E-06	1,08E-10	9,28E+07
17,1	0,7925796	393,1502655	393,1502637	115080,7991	44469,84	1	1,18E-02	1,90E-04	4,29E-06	4,49E-06	1,07E-10	9,29E+07
17,2	0,7944789	393,1502660	393,1502642	115080,7996	44469,84	1	1,17E-02	1,88E-04	4,25E-06	4,44E-06	1,07E-10	9,30E+07
17,3	0,7963608	393,1502664	393,1502646	115080,8000	44469,84	1	1,16E-02	1,86E-04	4,20E-06	4,39E-06	1,07E-10	9,32E+07
17,4	0,7982254	393,1502668	393,1502651	115080,8005	44469,84	1	1,15E-02	1,85E-04	4,16E-06	4,34E-06	1,07E-10	9,33E+07
17,5	0,8000730	393,1502672	393,1502655	115080,8009	44469,84	1	1,14E-02	1,83E-04	4,12E-06	4,30E-06	1,07E-10	9,34E+07
17,6	0,8019037	393,1502677	393,1502659	115080,8014	44469,84	1	1,13E-02	1,81E-04	4,07E-06	4,25E-06	1,07E-10	9,35E+07
17,7	0,8037176	393,1502681	393,1502664	115080,8018	44469,84	1	1,12E-02	1,80E-04	4,03E-06	4,21E-06	1,06E-10	9,36E+07
17,8	0,8055149	393,1502685	393,1502668	115080,8022	44469,84	1	1,11E-02	1,78E-04	3,99E-06	4,17E-06	1,06E-10	9,38E+07
17,9	0,8072957	393,1502689	393,1502672	115080,8027	44469,84	1	1,10E-02	1,76E-04	3,95E-06	4,12E-06	1,06E-10	9,39E+07
18,0	0,8090603	393,1502693	393,1502676	115080,8031	44469,84	1	1,09E-02	1,75E-04	3,91E-06	4,08E-06	1,06E-10	9,40E+07
18,1	0,8108086	393,1502696	393,1502680	115080,8035	44469,84	1	1,08E-02	1,73E-04	3,87E-06	4,04E-06	1,06E-10	9,41E+07
18,2	0,8125410	393,1502700	393,1502684	115080,8039	44469,84	1	1,07E-02	1,72E-04	3,83E-06	3,99E-06	1,06E-10	9,42E+07
18,3	0,8142575	393,1502704	393,1502688	115080,8044	44469,84	1	1,06E-02	1,70E-04	3,79E-06	3,95E-06	1,06E-10	9,43E+07
18,4	0,8159583	393,1502708	393,1502692	115080,8048	44469,84	1	1,05E-02	1,69E-04	3,75E-06	3,91E-06	1,05E-10	9,45E+07

18,5	0,8176435	393,1502712	393,1502696	115080,8052	44469,84	1	1,04E-02	1,67E-04	3,71E-06	3,87E-06	1,05E-10	9,46E+07
18,6	0,8193133	393,1502715	393,1502700	115080,8056	44469,84	1	1,03E-02	1,65E-04	3,67E-06	3,83E-06	1,05E-10	9,47E+07
18,7	0,8209678	393,1502719	393,1502704	115080,8060	44469,84	1	1,02E-02	1,64E-04	3,63E-06	3,79E-06	1,05E-10	9,48E+07
18,8	0,8226071	393,1502723	393,1502708	115080,8064	44469,84	1	1,01E-02	1,62E-04	3,59E-06	3,75E-06	1,05E-10	9,49E+07
18,9	0,8242315	393,1502726	393,1502711	115080,8068	44469,84	1	1,00E-02	1,61E-04	3,56E-06	3,71E-06	1,05E-10	9,50E+07
19,0	0,8258409	393,1502730	393,1502715	115080,8071	44469,84	1	9,95E-03	1,59E-04	3,52E-06	3,67E-06	1,04E-10	9,51E+07
19,1	0,8274356	393,1502733	393,1502719	115080,8075	44469,84	1	9,86E-03	1,58E-04	3,49E-06	3,64E-06	1,04E-10	9,52E+07
19,2	0,8290158	393,1502737	393,1502722	115080,8079	44469,84	1	9,77E-03	1,57E-04	3,45E-06	3,60E-06	1,04E-10	9,53E+07
19,3	0,8305814	393,1502740	393,1502726	115080,8083	44469,84	1	9,68E-03	1,55E-04	3,41E-06	3,56E-06	1,04E-10	9,54E+07
19,4	0,8321327	393,1502744	393,1502729	115080,8086	44469,84	1	9,59E-03	1,54E-04	3,38E-06	3,53E-06	1,04E-10	9,55E+07
19,5	0,8336698	393,1502747	393,1502733	115080,8090	44469,84	1	9,50E-03	1,52E-04	3,34E-06	3,49E-06	1,04E-10	9,56E+07
19,6	0,8351929	393,1502750	393,1502736	115080,8094	44469,84	1	9,41E-03	1,51E-04	3,31E-06	3,45E-06	1,04E-10	9,57E+07
19,7	0,8367020	393,1502754	393,1502740	115080,8097	44469,84	1	9,33E-03	1,50E-04	3,28E-06	3,42E-06	1,04E-10	9,58E+07
19,8	0,8381972	393,1502757	393,1502743	115080,8101	44469,84	1	9,24E-03	1,48E-04	3,24E-06	3,38E-06	1,03E-10	9,59E+07
19,9	0,8396788	393,1502760	393,1502747	115080,8104	44469,84	1	9,16E-03	1,47E-04	3,21E-06	3,35E-06	1,03E-10	9,60E+07
20,0	0,8411468	393,1502763	393,1502750	115080,8108	44469,84	1	9,07E-03	1,45E-04	3,18E-06	3,31E-06	1,03E-10	9,61E+07
20,1	0,8426014	393,1502767	393,1502753	115080,8111	44469,84	1	8,99E-03	1,44E-04	3,15E-06	3,28E-06	1,03E-10	9,62E+07

20,2	0,8440426	393,1502770	393,1502757	115080,8115	44469,84	1	8,91E-03	1,43E-04	3,11E-06	3,25E-06	1,03E-10	9,63E+07
20,3	0,8454707	393,1502773	393,1502760	115080,8118	44469,84	1	8,83E-03	1,41E-04	3,08E-06	3,21E-06	1,03E-10	9,64E+07
20,4	0,8468857	393,1502776	393,1502763	115080,8121	44469,84	1	8,75E-03	1,40E-04	3,05E-06	3,18E-06	1,03E-10	9,65E+07
20,5	0,8482877	393,1502779	393,1502766	115080,8125	44469,84	1	8,67E-03	1,39E-04	3,02E-06	3,15E-06	1,02E-10	9,66E+07
20,6	0,8496769	393,1502782	393,1502769	115080,8128	44469,84	1	8,59E-03	1,38E-04	2,99E-06	3,12E-06	1,02E-10	9,67E+07
20,7	0,8510533	393,1502785	393,1502773	115080,8131	44469,84	1	8,51E-03	1,36E-04	2,96E-06	3,09E-06	1,02E-10	9,68E+07
20,8	0,8524172	393,1502788	393,1502776	115080,8134	44469,84	1	8,43E-03	1,35E-04	2,93E-06	3,05E-06	1,02E-10	9,69E+07
20,9	0,8537686	393,1502791	393,1502779	115080,8138	44469,84	1	8,35E-03	1,34E-04	2,90E-06	3,02E-06	1,02E-10	9,70E+07
21,0	0,8551076	393,1502794	393,1502782	115080,8141	44469,84	1	8,28E-03	1,33E-04	2,87E-06	2,99E-06	1,02E-10	9,71E+07
21,1	0,8564343	393,1502797	393,1502785	115080,8144	44469,84	1	8,20E-03	1,31E-04	2,84E-06	2,96E-06	1,02E-10	9,71E+07
21,2	0,8577489	393,1502800	393,1502788	115080,8147	44469,84	1	8,13E-03	1,30E-04	2,81E-06	2,93E-06	1,02E-10	9,72E+07
21,3	0,8590514	393,1502802	393,1502791	115080,8150	44469,84	1	8,05E-03	1,29E-04	2,79E-06	2,90E-06	1,02E-10	9,73E+07
21,4	0,8603421	393,1502805	393,1502794	115080,8153	44469,84	1	7,98E-03	1,28E-04	2,76E-06	2,87E-06	1,01E-10	9,74E+07
21,5	0,8616209	393,1502808	393,1502796	115080,8156	44469,84	1	7,90E-03	1,27E-04	2,73E-06	2,85E-06	1,01E-10	9,75E+07
21,6	0,8628880	393,1502811	393,1502799	115080,8159	44469,84	1	7,83E-03	1,26E-04	2,70E-06	2,82E-06	1,01E-10	9,76E+07
21,7	0,8641435	393,1502813	393,1502802	115080,8162	44469,84	1	7,76E-03	1,24E-04	2,68E-06	2,79E-06	1,01E-10	9,77E+07
21,8	0,8653875	393,1502816	393,1502805	115080,8165	44469,84	1	7,69E-03	1,23E-04	2,65E-06	2,76E-06	1,01E-10	9,77E+07



21,9	0,8666201	393,1502819	393,1502808	115080,8168	44469,84	1	7,62E-03	1,22E-04	2,62E-06	2,73E-06	1,01E-10	9,78E+07
22,0	0,8678414	393,1502821	393,1502810	115080,8170	44469,84	1	7,55E-03	1,21E-04	2,60E-06	2,71E-06	1,01E-10	9,79E+07
22,1	0,8690515	393,1502824	393,1502813	115080,8173	44469,84	1	7,48E-03	1,20E-04	2,57E-06	2,68E-06	1,01E-10	9,80E+07
<b>22,2</b>	<b>0,8702506</b>	<b>393,1502826</b>	<b>393,1502816</b>	<b>115080,8176</b>	<b>44469,84</b>	<b>1</b>	<b>7,41E-03</b>	<b>1,19E-04</b>	<b>2,54E-06</b>	<b>2,65E-06</b>	<b>1,01E-10</b>	<b>9,81E+07</b>
22,3	0,8714386	393,1502829	393,1502818	115080,8179	44469,84	1	7,34E-03	1,18E-04	2,52E-06	2,63E-06	1,00E-10	9,81E+07
22,4	0,8726158	393,1502832	393,1502821	115080,8182	44469,84	1	7,28E-03	1,17E-04	2,49E-06	2,60E-06	1,00E-10	9,82E+07
22,5	0,8737823	393,1502834	393,1502824	115080,8184	44469,84	1	7,21E-03	1,16E-04	2,47E-06	2,57E-06	1,00E-10	9,83E+07

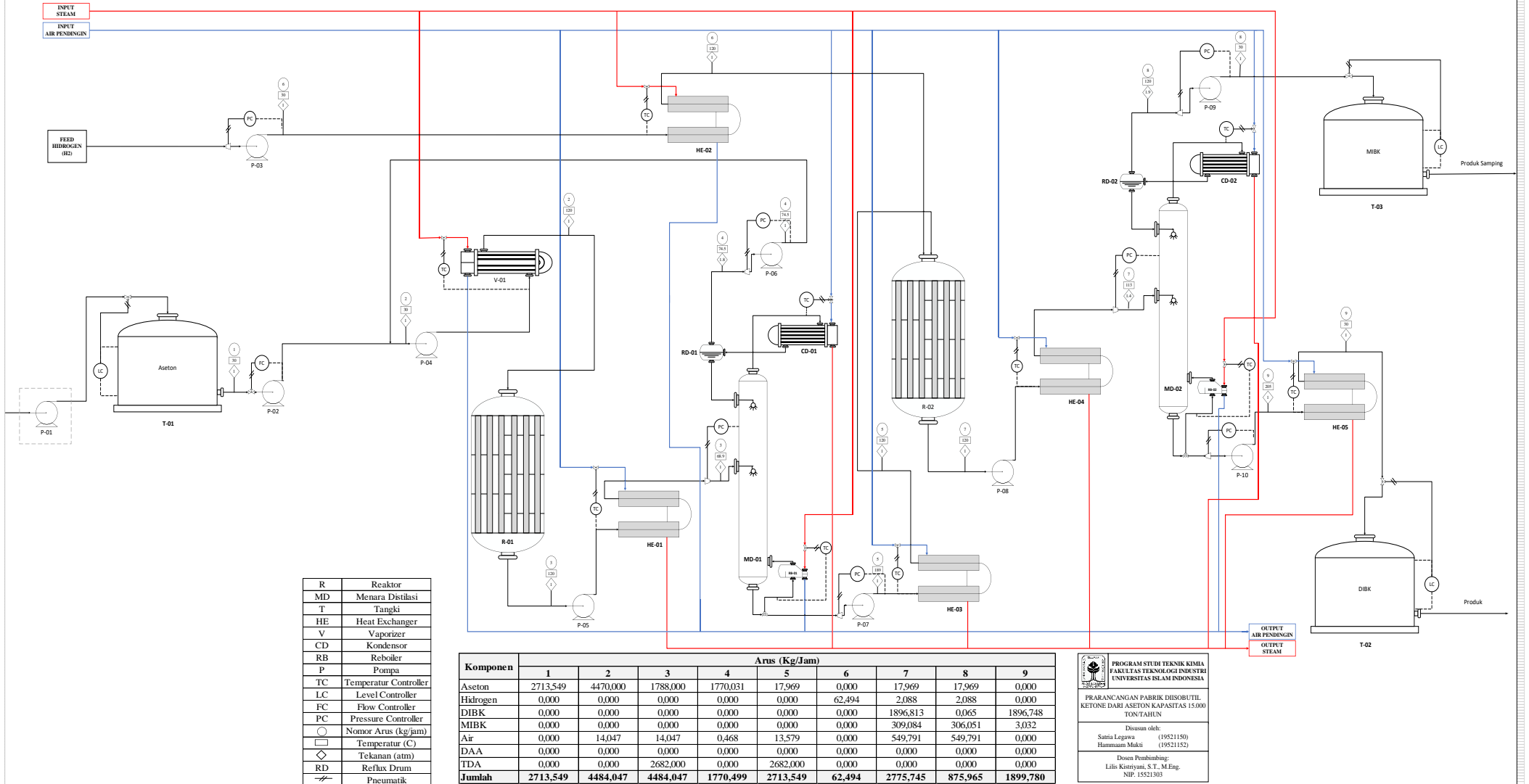
RESUME:

Konversi (X)	= 0,870251 %	
Suhu gas masuk (Tin)	= 393,15°C	= 666,15 K
Suhu gas keluar (Tout)	= 393,1502826°C	= 666,150282 K
Z (panjang pipa tube)	= 22,20 m	= 874,015748 in
Tekanan masuk (P in)	= 1 atm	
Tekanan keluar (P out)	= 1,000000003 atm	
Pressure drop	= 1,01E-10	
Diameter shell (IDS)	= 58,46 m	= 2301,50 in
Suhu pendingin masuk (Tp in)	= 393,15°C	= 666,15 K
Suhu pendingin keluar (Tp out)	= 393,1502816°C	= 666,1502816K

**LAMPIRAN B**

**PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD)**

## PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM PRARANCANGAN PABRIK DIISOBUTYL KETONE DARI ASETON KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN



**LAMPIRAN C**

**KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN**

## KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

Nama Mahasiswa 1 : Satria Legawa

No Mahasiswa 1 : 19521150

Nama Mahasiswa 2 : Hamaam Mukti

No Mahasiswa 2 : 19521152

Judul Prarancangan \*) :

### **PRA-RANCANGAN PABRIK DIISOBUTYL KETONE DARI ACETON KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN**

Mulai Masa Bimbingan : **10 Oktober 2022**

Batas Akhir Bimbingan : **8 April 2023 (Extended s/d 7 April 2024)**

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	6 Oktober 2023	Penentuan Kapasitas Pabrik, Pemilihan Proses, Spesifikasi Bahan Baku Dan Produk Serta Diagram Alir Kualitatif.	
2.	13 Oktober 2023	Neraca Massa, Perancangan Alat Besar, dan PEFD.	
3.	26 Oktober 2023	Perancangan Tangki Penyimpanan dan Pompa.	
4.	2 November 2023	Perancangan Alat Penukar Panas, Neraca Panas, Utilitas, dan Naskah	
5.	3 November 2023	Perancangan Reaktor Dengan Matlab	

6.	6 November 2023	Revisi Perancangan Reaktor	A
7.	7 November 2023	Revisi Naskah dan Perancangan Reaktor Dengan Excel	A
8.	8 November 2023	Acc Naskah	A

**Disetujui Draft Penulisan:**

**Yogyakarta, 8 November 2023**

**Pembimbing,**



**Lilis Kistriyani, S.T., M.Eng.**

**NIP: 155211303**

**\*) Judul prarancangan ditulis dengan huruf balok**

- kartu konsultasi bimbingan dilampirkan pada laporan prarancangan

- kartu konsultasi bimbingan dapat difotocopy