

No: TP03-59

**PRARANCANGAN PABRIK NOVOLAK RESIN DARI
FENOL DAN FORMALDEHID DENGAN KAPASITAS
14.000 Ton/Tahun**

PRARANCANGAN PABRIK

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia



Oleh :

Nama : Sheren Isnaina Shafa Nama : Silvi Zunyazizmy

No. Mahasiswa : 19521164

No. Mahasiswa : 19521166

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2023

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

**PRARANCANGAN PABRIK NOVOLAK RESIN DARI
FENOL DAN FORMALDEHID DENGAN KAPASITAS
14.000 TON/TAHUN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sheren Isnaina Shafa Nama : Silvi Zunyazizmy

No. Mahasiswa : 19521164 No. Mahasiswa : 19521166

Yogyakarta, 12 September 2023

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



Sheren Isnaina Shafa



Silvi Zunyazizmy

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**PRARANCANGAN PABRIK NOVOLAK RESIN DARI
FENOL DAN FORMALDEHID DENGAN KAPASITAS
14.000 TON/TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh :

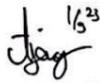
Nama : Sheren Isnaina Shafa Nama : Silvi Zunyazizmy

No. Mahasiswa : 19521164

No. Mahasiswa : 19521166

YOGYAKARTA, 1 September 2023

Pembimbing I,



Aleng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M. T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK NOVOLAK RESIN DARI FENOL DAN
FORMALDEHID DENGAN KAPASITAS 14.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Sheren Isnaina Shafa Nama : Silvi Zunyazizmy

No. Mahasiswa : 19521164

No. Mahasiswa : 19521166

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

YOGYAKARTA, 06 Oktober 2023

Tim Penguji,

Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T.

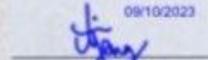
Ketua

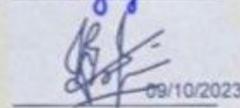
Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.

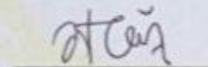
Anggota I

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

Anggota II


09/10/2023


09/10/2023



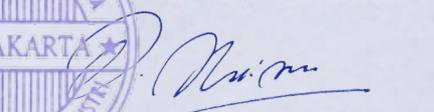
Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia




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

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah *abilalamin*, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat, karunia, serta taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian pelaksanaan tugas akhir “**Prarancangan Pabrik Novolak Resin dari Fenol dan Formaldehid dengan Kapasitas 14.000 Ton/Tahun**” ini yang dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Universitas Islam Indonesia.

Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Pemuda Arab Nabi besar Muhammad SAW, tercurahkan pula kepada keluarga, sahabat dan kita selaku umat-Nya hingga akhir zaman.

Dalam penulisan laporan Prarancangan Pabrik Kimia ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat mengerjakan Laporan Prarancangan Pabrik Kimia ini.
2. Kedua Orang Tua kami yang telah memberikan banyak do’a, motivasi serta dukungan dalam melaksanakan Laporan Prarancangan Pabrik Kimia ini maupun dalam penyelesaian Laporan Prarancangan Pabrik Kimia ini.

3. Ibu Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S. T., M. T. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahannya dan bimbingan dalam penyusunan Prarancangan Pabrik Kimia ini.
4. Ibu Ifa Puspasari, S. T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Teman-teman mahasiswa Teknik Kimia, Universitas Islam Indonesia atas semua bantuan dan dukungannya selama ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan yang telah banyak membantu terjalannya Laporan Prarancangan Pabrik Kimia ini.

Dalam penyusunan Laporan Prarancangan Pabrik Kimia ini disusun dengan sebaik-baiknya namun penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dan keterbatasan, oleh karena itu penulis memohon maaf atas ketidaksempurnaan ini karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT. Penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat dimanfaatkan dan dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan pengetahuan bagi penulis maupun pihak yang berkepentingan.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 5 September 2023

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

سَمِ ٱلْحَمْدُ لِلّٰهِ رَبِّ ٱلْعٰلَمِىْنَ
ٱلْحَمْدُ لِلّٰهِ رَبِّ ٱلْعٰلَمِىْنَ
ٱلْحَمْدُ لِلّٰهِ رَبِّ ٱلْعٰلَمِىْنَ

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini penulis persembahkan untuk:

1. Cinta pertamaku, Ayahanda tercinta A.Nurudin. Laki-laki hebat yang selalu menjadi penyemangat dengan memberikan motivasi, mendoakan, memberi nasihat walau terkadang pikiran kita tidak sejalan. Terima kasih, telah memberi dukungan penuh sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya sampai sarjana.
2. Pintu surgaku, Ibunda tercinta Yustina Ndaru Dewayani. Perempuan hebat yang tidak pernah lelah untuk menyemangati penulis, mendengarkan keluh kesah serta tangisan penulis, serta mendukung dan mendoakan penulis sehingga mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana. Terima kasih, telah menjadi tempat pulang yang nyaman bagi Saya.
3. Kedua adikku tersayang, Syifa dan Shafa, yang selalu menghibur serta menjadi *support system* terbaik bagi penulis. Terima kasih atas semangat dan cinta yang diberikan.
4. *Partnerku*, Sheren Isnaina Shafa. Teman seperjuanganku. Terima kasih banyak telah menemani penulis selama masa perkuliahan ini, baik dari kuliah, KP, penelitian, serta dalam penyusunan naskah tugas akhir ini. Terima kasih telah banyak bersabar dan sama-sama telah berjuang dari awal

hingga akhir. Semoga mendapatkan ilmu yang bermanfaat serta dapat menerapkan dalam kehidupan sehari-hari serta bagi masyarakat yang luas nantinya. *See you on top, yen!*

5. Sosok pemilik NIM 19525081, sebagai *partner* spesial penulis. Terima kasih telah menjadi sosok pendamping dalam segala hal, telah menemani, meluangkan waktu, mendukung, menghibur dalam kesedihan serta selalu memberi semangat untuk terus maju dan pantang menyerah.
6. Seluruh pihak yang memberikan bantuan serta dukungan yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih atas bantuan, semangat, dan doa baik yang diberikan kepada penulis selama ini.
7. Silvi Zunyazizmy, diri saya sendiri. Apresiasi kepada diri sendiri ini karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan studinya di Teknik Kimia ini, serta terus berusaha untuk menikmati setiap prosesnya walau banyak mengeluarkan air mata untuk bertahan. Terima kasih karena sudah bertahan.

Akhir kata, penulis mengucapkan banyak terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu, semoga Allah SWT melimpahkan karunia-Nya dalam setiap amal kebaikan kita serta diberikan balasan. Aamiin.

Yogyakarta, 5 September 2023

Penulis

Silvi Zunyazizmy

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
PRAKATA.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN.....	xvii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik	3
1.2.1 <i>Supply</i>	3
1.2.2 <i>Demand</i>	5
1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku	9
1.2.4 Kapasitas Produksi Pabrik Novolak Resin	10
1.3 Tinjauan Pustaka	11
1.3.1 Proses Pembuatan Resin Fenol – Formaldehida.....	11
1.3.2 Pemilihan Proses.....	15
1.3.3 Proses Pembuatan Produk.....	16
1.3.4 Kegunaan Produk	18
1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika	19
1.4.1. Tinjauan Kinetika	19
1.4.2. Tinjauan Termodinamika	19
BAB II PERANCANGAN PRODUK.....	23
2.1 Spesifikasi Produk.....	23
2.1.1. Novolak Resin	23

2.2	Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung	25
2.2.1	Fenol.....	25
2.2.2	Formaldehid.....	27
2.2.3	Asam Sulfat.....	29
2.2.4	Natrium Hidroksida.....	31
2.2.5	Air.....	33
2.3	Pengendalian Kualitas.....	34
2.3.1	Bahan Baku.....	34
2.3.2	Alat Proses	35
2.3.3	Proses Produksi.....	36
2.3.4	Produk	37
BAB III	PERANCANGAN PROSES	38
3.1	Diagram Alir Proses dan Material.....	38
3.1.1	Diagram Alir Proses	38
3.1.2	Diagram Alir Material	39
3.2	Uraian Proses.....	40
3.2.1	Tahap Persiapan Bahan Baku	40
3.2.2	Tahap Reaksi.....	41
3.2.3	Tahap Penetralan	42
3.2.4	Tahap Pemurnian Produk.....	42
3.3	Spesifikasi Alat.....	43
3.3.1	Spesifikasi Reaktor.....	43
3.3.2	Spesifikasi Alat Pemisah dan Operasi Pendukung	45
3.3.3	Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan.....	50
3.3.4	Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair.....	53
3.3.5	Spesifikasi Alat Penukar Panas	57
3.4	Neraca Massa.....	62
3.4.1	Neraca Massa Total	62
3.4.2	Neraca Massa Alat	62
3.5	Neraca Panas.....	65
3.5.1	Reaktor (R – 01)	65
3.5.2	<i>Neutralizer</i> (N – 01)	65
3.5.3	Menara Distilasi (MD – 01).....	65
3.5.4	<i>Heater</i> 1 (HE – 01).....	66

3.5.5	<i>Heater 2 (HE – 02)</i>	66
3.5.6	<i>Heater 3 (HE – 03)</i>	66
3.5.7	<i>Cooler 1 (CL – 01)</i>	66
3.5.8	<i>Cooler 2 (CL – 02)</i>	67
BAB IV PERANCANGAN PABRIK		68
4.1	Lokasi Pabrik	68
4.1.1.	Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik	69
4.1.2.	Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik	71
4.2	Tata Letak Pabrik (<i>Plant Layout</i>)	72
4.3	Tata Letak Mesin/Alat Proses (<i>Machines Layout</i>)	80
4.4	Organisasi Perusahaan	84
4.4.1	Bentuk Perusahaan	84
4.4.2	Struktur Organisasi.....	85
4.4.3	Tugas dan Wewenang	88
4.4.4	Status Karyawan.....	92
4.4.5	Jabatan dan Keahlian.....	93
4.4.6	Karyawan	94
BAB V UTILITAS		102
5.1	Unit Penyediaan dan Pengolahan Air	102
5.1.1	Unit Penyediaan Air.....	102
5.1.2	Unit Pengolahan Air	107
5.2	Unit Pembangkit <i>Steam</i>	115
5.3	Unit Pembangkit Listrik	115
5.4	Unit Penyedia Udara Tekan	119
5.5	Unit Penyedia Bahan Bakar	120
5.6	Unit Pengolahan Limbah	120
5.7.1	Alat Transportasi Bahan Utilitas	122
5.7.2	Bak Utilitas	125
5.7.3	Tangki Utilitas	126
5.7.4	<i>Screener</i> Utilitas	129
5.7.5	<i>Sand Filter</i> Utilitas	129
5.7.6	<i>Cooling Tower</i> Utilitas	129
5.7.7	<i>Mixed Bed</i> Utilitas	130
5.7.8	Deaerator Utilitas.....	130

5.7.9	<i>Blower Cooling Tower Utilitas</i>	130
BAB VI	EVALUASI EKONOMI	132
6.1	Evaluasi Ekonomi	132
6.2	Penaksiran Harga Peralatan	133
6.3	Dasar Perhitungan	137
6.4	Perhitungan Biaya	137
6.4.1	<i>Capital Investment</i>	137
6.4.2	<i>Manufacturing Cost</i>	138
6.4.3	<i>General Expense</i>	139
6.5	Analisa Kelayakan	139
6.5.1	<i>Return On Investment (ROI)</i>	139
6.5.2	<i>Pay Out Time (POT)</i>	140
6.5.3	<i>Break Even Point (BEP)</i>	140
6.5.4	<i>Shut Down Point (SDP)</i>	141
6.5.5	<i>Discounted Cash Flow Rate Of Return (DCFR)</i>	142
6.6	Hasil Perhitungan	143
6.6.1	Penentuan <i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	143
6.6.2	Penentuan <i>Total Production Cost (TPC)</i>	144
6.6.3	Penentuan <i>Fixed Cost (Fa)</i>	146
6.6.4	Penentuan <i>Variable Cost (Va)</i>	146
6.6.5	Penentuan <i>Regulated Cost (Ra)</i>	146
6.7	Hasil Analisa Keuntungan	147
6.8	Hasil Kelayakan Ekonomi	147
6.8.1	<i>Percent Return On Investment (%ROI)</i>	147
6.8.2	<i>Pay Out Time (POT)</i>	148
6.8.3	<i>Break Even Point (BEP)</i>	148
6.8.4	<i>Shut Down Point (SDP)</i>	148
6.8.5	<i>Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)</i>	148
6.9	Analisa Resiko Pabrik	149
BAB VII	KESIMPULAN DAN SARAN	152
7.1	Kesimpulan	152
7.2	Saran	153
DAFTAR PUSTAKA	155

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor Novolak Resin di Indonesia	3
Tabel 1. 2 Data Ekspor Novolak Resin	5
Tabel 1. 3 Data Produksi Cat di Indonesia.....	7
Tabel 1. 4 Data Produksi Pernis di Indonesia	8
Tabel 1. 5 Data Produksi Lak di Indonesia	8
Tabel 1. 6 Data Ketersediaan Bahan Baku.....	9
Tabel 1. 7 Data Kapasitas Komersil Dalam Negeri dan Luar Negeri	10
Tabel 1. 8 Pemilihan Proses Berdasarkan Jenis Katalis.....	16
Tabel 1. 9 Data Energi Gibbs Masing-Masing Komponen.....	20
Tabel 1. 10 Data Panas Pembentukan Standar Masing-Masing Komponen.....	21
Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor	43
Tabel 3. 2 Spesifikasi Mixer	45
Tabel 3. 3 Spesifikasi Neutralizer.....	46
Tabel 3. 4 Spesifikasi Dekanter	47
Tabel 3. 5 Spesifikasi Menara Distilasi	48
Tabel 3. 6 Spesifikasi Tangki.....	50
Tabel 3. 7 Spesifikasi Accumulator	52
Tabel 3. 8 Spesifikasi Pompa.....	53
Tabel 3. 9 Spesifikasi Pompa (lanjutan).....	54
Tabel 3. 10 Spesifikasi Pompa (lanjutan).....	55
Tabel 3. 11 Spesifikasi Cooler	57
Tabel 3. 12 Spesifikasi Heater	58
Tabel 3. 13 Spesifikasi Kondensor	60
Tabel 3. 14 Spesifikasi Reboiler	60
Tabel 3. 15 Neraca Massa Total.....	62
Tabel 3. 16 Neraca Massa Mixer (M – 01)	62
Tabel 3. 17 Neraca Massa Reaktor (R – 01).....	63
Tabel 3. 18 Neraca Massa Neutralizer (N – 01)	63
Tabel 3. 19 Neraca Massa Dekanter (D – 01).....	64
Tabel 3. 20 Neraca Massa Menara Distilasi (MD – 01).....	64
Tabel 3. 21 Neraca Panas Reaktor (R – 01).....	65
Tabel 3. 22 Neraca Panas Neutralizer (N – 01)	65
Tabel 3. 23 Neraca Panas Menara Distilasi (MD – 01).....	65
Tabel 3. 24 Neraca Panas Heater 1 (HE – 01).....	66
Tabel 3. 25 Neraca Panas Heater 2 (HE – 02).....	66
Tabel 3. 26 Neraca Panas Heater 3 (HE – 03).....	66
Tabel 3. 27 Neraca Panas Cooler 1 (CL – 01)	66
Tabel 3. 28 Neraca Panas Cooler 2 (CL – 02)	67
Tabel 4. 1 Rincian Luas Tanah Bangunan Pabrik.....	76
Tabel 4. 2 Daftar Jabatan Perusahaan.....	93
Tabel 4. 3 Data Jumlah Karyawan.....	95

Tabel 4. 4 Jadwal Kerja Karyawan Shift	97
Tabel 4. 5 Gaji Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	99
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Pendingin.....	104
Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Umpan <i>Boiler</i>	105
Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Sanitasi.....	107
Tabel 5. 4 Kebutuhan Listrik Alat Proses.....	116
Tabel 5. 5 Kebutuhan Listrik Utilitas.....	117
Tabel 5. 6 Spesifikasi Pompa Utilitas	122
Tabel 5. 7 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan).....	123
Tabel 5. 8 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan).....	124
Tabel 5. 9 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan).....	124
Tabel 5. 10 Spesifikasi Bak Utilitas	125
Tabel 5. 11 Spesifikasi Tangki Utilitas	126
Tabel 5. 12 Spesifikasi Tangki Utilitas (Lanjutan)	127
Tabel 5. 13 Spesifikasi <i>Screener</i> Utilitas	129
Tabel 5. 14 Spesifikasi <i>Sand Filter</i> Utilitas	129
Tabel 5. 15 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> Utilitas.....	129
Tabel 5. 16 Spesifikasi <i>Mixed Bed</i> Utilitas	130
Tabel 5. 17 Spesifikasi Deaerator Utilitas	130
Tabel 5. 18 Spesifikasi <i>Blower Cooling Tower</i> Utilitas.....	130
Tabel 6. 1 Indeks Harga Alat.....	134
Tabel 6. 2 <i>Physical Plant Cost</i> (PPC)	143
Tabel 6. 3 <i>Direct Plant Cost</i> (DPC)	143
Tabel 6. 4 <i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	144
Tabel 6. 5 <i>Direct Manufacturing Cost</i> (DMC).....	144
Tabel 6. 6 <i>Indirect Manufacturing Cost</i> (IMC).....	144
Tabel 6. 7 <i>Fixed Manufacturing Cost</i> (FMC).....	144
Tabel 6. 8 <i>Manufacturing Cost</i> (MC)	145
Tabel 6. 9 <i>Working Capital</i> (WC).....	145
Tabel 6. 10 <i>General Expense</i> (GE)	145
Tabel 6. 11 <i>Total Production Cost</i> (TPC).....	146
Tabel 6. 12 <i>Fixed Cost</i> (Fa)	146
Tabel 6. 13 <i>Variable Cost</i> (Va)	146
Tabel 6. 14 <i>Regulated Cost</i> (Ra)	146
Tabel 6. 15 Hasil Analisa <i>High Risk</i> dan <i>Low Risk</i>	150
Tabel 6. 16 Hasil Analisa Ekonomi.....	151

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Data Impor Novolak Resin di Indonesia	4
Gambar 1. 2 Grafik Data Ekspor Novolak Resin	6
Gambar 1. 3 Reaksi Menjadi Monomethylol Phenol (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)	12
Gambar 1. 4 Reaksi Pembentukan <i>Dimethylol Phenol</i> (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)	13
Gambar 1. 5 Reaksi Pembentukan Trimethylol Phenol (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)	13
Gambar 1. 6 Reaksi Kondensasi Polimerisasi (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)	14
Gambar 1. 7 Reaksi Methylolasi (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)	15
Gambar 1. 8 Reaksi Metilenasi (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008).....	15
Gambar 1. 9 Grafik Hubungan antara Konversi dan Waktu Reaksi (Zhang et al., 2011)	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Proses.....	38
Gambar 3. 2 Diagram Alir Material	39
Gambar 4. 1 Lokasi Pendirian Pabrik	68
Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik (Plant Layout).....	78
Gambar 4. 3 Tata Letak Alat-Alat Proses (Machines Layout).....	83
Gambar 4. 4 Struktur Organisasi Perusahaan	87
Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas	108
Gambar 6. 1 Grafik Indeks Harga Alat	136
Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi.....	149

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran – A	Perancangan Reaktor
Lampiran – B	<i>Process Engineering Flow Diagram (PEFD)</i>
Lampiran – C	Kartu Konsultasi Bimbingan Prarancangan Pabrik

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

T	: <i>Temperature</i> , °C
μ	: Viskositas, cP
ρ	: Densitas Kg/m ³
π	: Pi, 3,14
D	: Diameter, m
H	: Tinggi, m
V	: Volume, m ³
m	: Massa, Kg
T	: Waktu, jam
K	: Konstanta kinetika reaksi, /menit
Fv	: Laju alir, m ³ /jam
Ms	: Massa <i>steam</i> , Kg
A	: Luas bidang penampang, ft ²
x	: Konversi, %
TD	: Titik didih, °C
Dt	: Dimensi reaktor, m
ID	: <i>Inside</i> diameter
OD	: <i>Outside</i> diameter
ts	: Ketebalan dinding, in
th	: Ketebalan <i>head</i> , in
P	: Power motor, hP
Re	: Bilangan Reynold
E	: Efisiensi sambungan
Ri	: Jari-jari reaktor
C	: <i>Corossion allowance</i>
f	: <i>Allowable stress</i> , psia
W	: Faktor intensifikasi tegangan untuk jenis <i>head</i>

sg	: <i>Specific gravity</i>
Di	: Diameter pengaduk, m
W	: Tinggi pengaduk, m
Wb	: Lebar <i>baffle</i> , m
L	: Lebar pengaduk, m
Zi	: Jarak pengaduk
ZL	: Tinggi pengaduk, m
N	: Kecepatan pengaduk, rpm
Rd	: Faktor pengotor
H	: Efisiensi
N	: Jumlah banyaknya lilitan
L	: Lebar, m
P	: Panjang, m
hi	: <i>Inside film coefficient</i> , Btu/jam ft ² °F
hio	: <i>Outside film coefficient</i> , Btu/jam ft ² °F
jH	: <i>Heat transfer factor</i>
LMTD	: <i>Long Mean Temperature Different</i>
Nt	: Jumlah <i>tube</i>
ΔG°	: Energi Gibbs Standar (kJ/mol)
R	: Tetapan gas ideal

ABSTRAK

Novolak resin digunakan sebagai lak, bahan laminating, bahan perekat kayu, pernis serta panel dinding dekorasi. Kebutuhan novolak resin di Indonesia setiap tahun mengalami peningkatan dan diperoleh perhitungan proyeksi kebutuhan di 2028 sebanyak 70,978 ton, sehingga diperlukan untuk mendirikan pabrik novolak resin yang baru. Kapasitas pabrik novolak resin ini yaitu 14.000 ton/tahun, didesain pada kapasitas produksi yang beroperasi selama 330 hari. Pabrik direncanakan akan dibangun di Serang, Banten dengan jumlah pekerja 103 orang. Pabrik berdiri di tanah seluas 13.978 m². Reaksi pembentukan novolak resin merupakan reaksi eksotermis yang terjadi di reaktor tangki alir berpengaduk (RATB) dengan kondisi operasi 95°C dan tekanan 1 atm. Pabrik novolak resin ini membutuhkan bahan baku fenol sebanyak 2.070,256 kg/jam, formaldehid sebanyak 528,576 kg/jam serta katalis asam sulfat sebanyak 0,518 kg/jam. Kebutuhan utilitas pabrik novolak resin meliputi air sebanyak 54.431,965 kg/jam yang diperoleh dari air sungai, kebutuhan listrik sebanyak 117,701 KW didapat dari PLN, kebutuhan bahan bakar sebanyak 2.129.701,534 kg/jam dan kebutuhan udara bertekanan sebanyak 61,164 m³/jam. Dari analisis ekonomi, pabrik novolak resin ini membutuhkan *fixed capital investment* sebesar Rp. 266.917.880.087 dan *working capital* sebesar Rp. 1.722.370.265.306. Keuntungan sebelum pajak Rp. 85.921.516.978 per tahun, sedangkan keuntungan sesudah pajak sebesar Rp. 68.737.213.582 per tahun. Analisis kelayakan ini memberikan hasil bahwa *Percent Return On Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 32% dan setelah pajak sebesar 26%. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak sebesar 2,370 tahun sedangkan setelah pajak sebesar 2,797 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 54,346% kapasitas, dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 40,163% kapasitas. *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 6,613%. Berdasarkan hasil analisa kelayakan ekonomi, maka pabrik novolak resin ini cukup menarik untuk didirikan.

Kata-Kata Kunci : Fenol, Formaldehid, Novolak Resin, RATB

ABSTRACT

Novolak resin is used as shellac, laminating material, wood adhesive, varnish as well as decoration wall panels. The need for novolak resin in Indonesia has increased every year and the calculation of projected needs in 2028 is 70,978 tons, so it is necessary to establish a new novolak resin plant. The capacity of this novolak resin plant is 14,000 tons/year, designed at a production capacity that operates for 330 days. The factory is planned to be built in Serang, Banten with a total of 103 workers. The factory stands on a land area of 13,978 m². The reaction of novolak resin formation is an exothermic reaction that occurs in a stirred flow tank reactor (RATB) with operating conditions of 95°C and a pressure of 1 atm. This novolak resin plant requires phenol raw materials as much as 2,070.256 kg/hour, formaldehyde as much as 528.576 kg / hour and sulfuric acid catalyst as much as 0.518 kg/hour. The utility needs of the novolak resin plant include water as much as 54,431,965 kg/hour obtained from river water, electricity needs as much as 117,701 KW obtained from PLN, fuel needs as much as 2,129,701,534 kg/hour and compressed air needs as much as 61,164 m³/hour. From economic analysis, this novolak resin plant requires fixed capital investment of Rp. 266,917,880,087 and working capital of Rp. 1.722.370.265.306. Profit before tax is Rp. 85.921.516.978 per year, while profit after tax is Rp. 68.737.213.582 per year. This feasibility analysis results in a pre-tax Percent Return On Investment (ROI) of 32% and 26% after tax. Pay Out Time (POT) before tax is 2,370 years while after tax is 2,797 years. Break Even Point (BEP) is 54.346% capacity, and Shut Down Point (SDP) is 40.163% capacity. Discounted Cash Flow (DCF) amounted to 6.613%. Based on the results of the economic feasibility analysis, the novolak resin plant is quite interesting to establish.

Keywords : CSTR, Formaldehyde, Novolac Resin, Phenol

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara berkembang yang termasuk dalam negara terbesar di dunia sehingga Indonesia memiliki sumber daya alam yang beragam. Selain itu, Indonesia juga memiliki total penduduk terbanyak keempat di dunia setelah Republik Rakyat Cina, India dan Amerika Serikat yaitu sebanyak 280.398.325 jiwa (*worldometers*). Hal tersebut membuat Indonesia memiliki sumber daya manusia (SDM) yang melimpah. Dengan persaingan ekonomi yang ketat, pertumbuhan penduduk yang semakin padat membuat Indonesia terus mengupayakan kesejahteraan masyarakatnya dengan cara melakukan banyak pembangunan salah satunya pembangunan di bidang industri. Indonesia terus melakukan pembangunan di bidang industri guna memenuhi kebutuhan dalam negeri dan juga memecahkan masalah lapangan pekerjaan yang terus bertambah seiring dengan penambahan penduduk Indonesia.

Industri kimia merupakan salah satu industri yang memiliki prospek dan juga peluang inventaris yang besar dikarenakan kebutuhan akan bahan kimia yang selalu meningkat setiap tahunnya sehingga dengan melakukan pembangunan industri kimia dapat mengurangi ketergantungan impor terhadap bahan kimia selain itu juga dapat meningkatkan kemampuan ekspor Indonesia sehingga dapat menambah pendapatan devisa negara.

Semakin berkembangnya zaman semakin berkembang pula benda-benda yang diciptakan untuk dapat membantu pekerjaan manusia. Tak hanya fungsi, keindahan suatu produk juga dapat menjadi daya tarik tersendiri bagi konsumennya. Penggunaan akan bahan pelapis maupun pewarna (cat) juga meningkat. Salah satu bahan yang sering digunakan dalam produksi pelapis maupun pewarna tersebut adalah fenol formaldehid resin atau yang biasa disebut dengan novolak resin.

Tak hanya digunakan sebagai bahan pelapis maupun pewarna (cat), dalam dunia industri novolak resin (C_7H_6O)_n adalah resin yang terbentuk dari reaksi fenol dengan formaldehid dapat digunakan sebagai lak, bahan laminating, bahan perekat kayu, pernis serta panel dinding dekorasi. Kelebihan dari novolak resin itu sendiri adalah mudah dicetak, dibentuk, mudah diwarnai dan yang paling penting adalah tidak menimbulkan efek racun yang berbahaya bagi tubuh. Dengan sifat-sifat tersebut novolak resin dapat diolah kedalam berbagai bentuk seperti, lembaran, plat, batang dan lain-lain (Pizzi & Mittal, 2003).

Proyeksi konsumsi novolak resin di Indonesia akan terus bertambah seiring dengan berkembangnya industri yang menggunakan bahan resin novolak. Di Indonesia novolak resin sudah di produksi, akan tetapi produk yang dihasilkan masih tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan akan novolak resin di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan akan novolak resin Indonesia mengimpor novolak resin dari luar negeri. Pendirian pabrik novolak resin sangat penting untuk dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri serta dapat menghemat devisa negara selain itu juga dapat mengurangi masalah lapangan kerja yang ada di Indonesia.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Prediksi akan kapasitas pabrik yang akan didirikan dilakukan berdasarkan kebutuhan akan novolak resin di Indonesia. Penentuan kapasitas meliputi *demand* dan supply, dengan *demand* yaitu meliputi data ekspor dan konsumsi sedangkan *supply* meliputi data impor dan produksi dalam negeri.

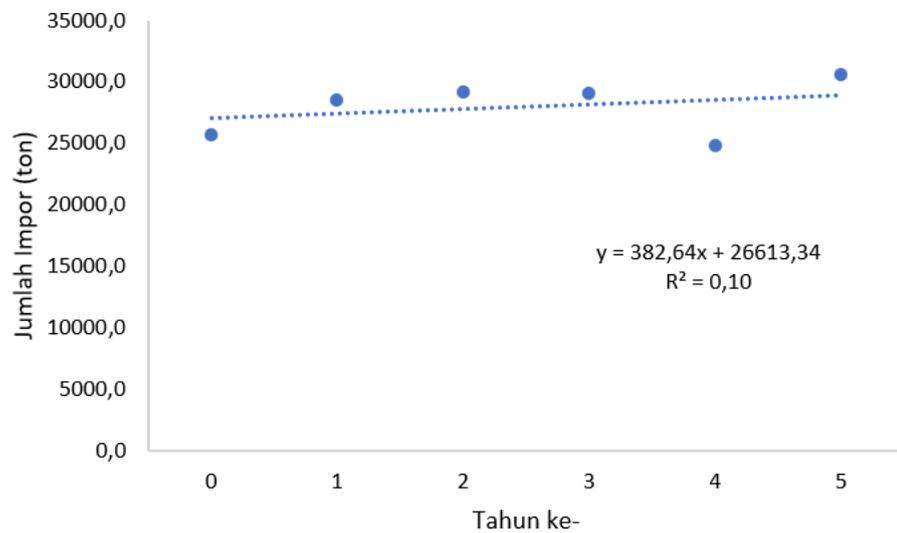
1.2.1 Supply

a. Impor Novolak Resin di Indonesia

Tabel 1. 1 Data Impor Novolak Resin di Indonesia (Comtrade Plus, 2022)

No.	Tahun	Impor (Ton)
1.	2016	25.629,9
2.	2017	28.500,9
3.	2018	29.192,0
4.	2019	29.028,4
5.	2020	24.806,8
6.	2021	30.557,5

Berdasarkan tabel diatas maka didapatkan grafik hubungan antara tahun impor novolak resin dengan banyaknya novolak resin yang diimpor.



Gambar 1. 1 Grafik Data Impor Novolak Resin di Indonesia

Pada grafik diatas berlaku persamaan regresi linear, yaitu :

$$y = ax + b$$

$$y = 382,64x + 26.613,34$$

Jika pabrik novolak resin ini dirancangan akan didirikan pada tahun 2028, maka prediksi impor novolak resin pada tahun ke-12 dapat dihitung sebagai berikut:

$$y = 382,64(12) + 26.613,34$$

$$y = 31.205,02 \text{ ton}$$

b. Produksi Novolak Resin di Indonesia

Di Indonesia novolak resin telah diproduksi oleh PT. Indoperin Jaya dengan kapasitas sebesar 12.000 ton/tahun (Kemenperin). Jika diasumsikan hingga tahun pendirian pabrik yaitu 2028 tidak ada pabrik baru dalam negeri yang memproduksi novolak resin, maka produksi novolak resin pada 2028 diprediksi sebesar 12.000 ton/tahun.

Berdasarkan proyeksi impor dan juga data produksi novolak dalam negeri, maka dapat diprediksi *supply* novolak resin di Indonesia pada tahun 2028 sebesar:

$$\text{supply} = \text{impor} + \text{produksi dalam negeri}$$

$$\text{supply} = 31.205,02 \text{ ton/tahun} + 12.000 \text{ ton/tahun}$$

$$\text{supply} = 43.205,02 \text{ ton/tahun}$$

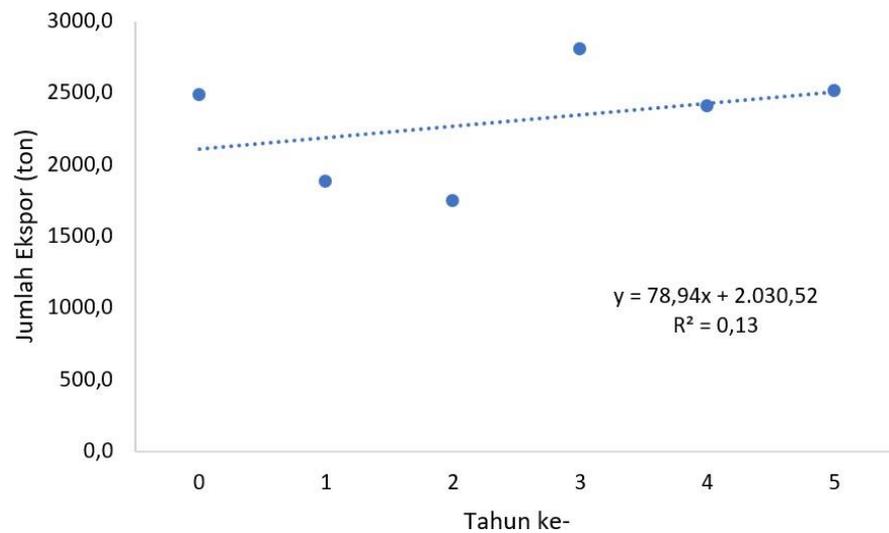
1.2.2 Demand

a. Ekspor Novolak Resin

Tabel 1. 2 Data Ekspor Novolak Resin (Comtrade Plus, 2022)

No.	Tahun	Ekspor (Ton)
1.	2016	2.488,1
2.	2017	1.879,3
3.	2018	1.747,8
4.	2019	2.805,0
5.	2020	2.409,7
6.	2021	2.511,0

Berdasarkan tabel diatas maka didapatkan grafik hubungan antara tahun ekspor novolak resin dengan banyaknya novolak resin yang diekspor.



Gambar 1. 2 Grafik Data Ekspor Novolak Resin

Pada grafik diatas berlaku persamaan regresi linear, yaitu :

$$y = ax + b$$

$$y = 78,94x + 2.030,52$$

Jika pabrik novolak resin ini dirancangan akan didirikan pada tahun 2028, maka prediksi ekspor novolak resin pada tahun ke-12 dapat dihitung sebagai berikut:

$$y = 78,94(12) + 2.030,52$$

$$y = 2.977,8 \text{ ton}$$

b. Konsumsi Novolak Resin di Indonesia

Dalam industri, novolak resin paling banyak digunakan sebagai bahan baku produksi cat, pernis dan juga lak. Adapun industri cat di Indonesia dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 1. 3 Data Produksi Cat di Indonesia (Kemenperin, 2022)

Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)
Gamma Paintindo	50
Industri Maju Bersama	500
Mulia Warna Pratama	100
Pabrik Cat Tunggal Djaja Indah	20.000
Sinar Matahari Putra	1.100
Teguh Indah Prima	4.000
Warna Agung	25.000
Weilux Citra Lestari	500
Internasional Paint Indonesia	9.800
Jotun Indonesia	45.000
Avi Avian	147.000
Citra Warna Abadi	10.000
Total	263.050

Untuk produksi pernis dalam negeri dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 1. 4 Data Produksi Pernis di Indonesia (Kemenperin, 2022)

Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)
Finachem Adijaya Prima	1.000
Futanlux Chemitraco	500
Kansai Paint Indonesia	3.400
Sinar Matahari Putra	50
Tiga Arga Kencana	0,5
Akzo Nobel Car Refinishes Indonesia	1.500
Avi Avian	49.000
Total	55.450,5

Untuk produksi lak dalam negeri dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 1. 5 Data Produksi Lak di Indonesia (Kemenperin, 2022)

Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)
Akzo Nobel Car Refinishes Indonesia	1.000
Tiga Arga Kencana	0,5
Avi Avian	3.000
Erje London Chemical	14.500
Total	21.500,5

Dari data yang telah ada, maka menurut Kemenperin total pabrik yang menggunakan bahan baku novolak resin adalah 340.001 ton/tahun. Sehingga, apabila diasumsikan penggunaan bahan baku novolak resin untuk produksi pabrik tersebut adalah 20% maka konsumsi novolak resin dalam negeri sebesar 68.000,2 ton/tahun.

Berdasarkan proyeksi ekspor dan juga data konsumsi dalam negeri, maka dapat diprediksi *demand* novolak resin di Indonesia pada tahun 2028 sebesar:

$$demand = ekspor + konsumsi dalam negeri$$

$$demand = 2.977,8 \text{ ton} + 68.000,2 \text{ ton/tahun}$$

$$demand = 70.978 \text{ ton/tahun}$$

Berdasarkan proyeksi data impor, ekspor, konsumsi, dan produksi novolak resin. Maka, peluang pasar untuk novolak resin yang akan didirikan pada tahun 2028 dapat ditentukan dengan kapasitas sebesar:

$$peluang = demand - supply$$

$$peluang = 70.978 \text{ ton/tahun} - 43.205,02 \text{ ton/tahun}$$

$$peluang = 27.772,98 \text{ ton/tahun}$$

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Penyediaan bahan baku merupakan salah satu faktor yang cukup penting dalam pendirian pabrik. Bahan baku utama pembuatan novolak resin yaitu formaldehida dan fenol serta dibantu oleh katalis asam sulfat.

Tabel 1. 6 Data Ketersediaan Bahan Baku (Kemenperin, 2022)

Bahan Baku	Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)
Formaldehid	PT. Handsome Glue Indonesia	60.000
	PT. Dover Chemical	150.000

Fenol	PT. Kumenindo Kridanusa	120.000
Asam Sulfat	PT. Petrokimia Gresik	1.170.000
	PT. Indonesia Acids Industry	3.000
	PT. Jordan Abadi	530.000

1.2.4 Kapasitas Produksi Pabrik Novolak Resin

Untuk kapasitas komersil novolak resin dalam negeri maupun luar negeri dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. 7 Data Kapasitas Komersil Dalam Negeri dan Luar Negeri

Produsen	Negara	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT. Indoperin Jaya	Indonesia	12.000
Chang Chun Plasties.co	Cina	20.000
Georgia Pacific Corporation	Amerika	23.000
Japan's Suitomo Chemical	Jepang	25.000
Leuna-Harze Chemical	Jerman	18.000
Dynea Chemicals	Rusia	25.000
Shandong Shequan Chemical.Co.Ltd	Cina	20.000
Nanjing Chemical Industry Park	Cina	30.000
Haiyan Huaqiang Resin.Co.Ltd	Cina	8.000

Dengan pertimbangan kebutuhan novolak resin, ketersediaan bahan baku dan juga kapasitas komersil untuk novolak resin maka pabrik novolak resin yang akan didirikan pada tahun 2028 dengan kapasitas sebesar 14.000 ton/tahun.

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Proses Pembuatan Resin Fenol – Formaldehida

Resin fenol–formaldehida terus menghiasi industri resin, lebih dari seabad setelah pengembangan pertamanya, karena sifat dan kinerjanya yang serbaguna dalam berbagai aplikasi. Produksi dan aplikasi komersial resin fenol–formaldehida dengan cepat menyebar ke seluruh dunia setelah produksi komersial pertamanya di Jerman pada tahun 1909. Sifat mekanik yang sangat baik, tahan api, fleksibilitas, biaya rendah, stabilitas termal yang tinggi, dan ketahanan air dan kimia telah menjadikannya bahan pilihan untuk aplikasi di industri kedirgantaraan, sebagai perekat di unit manufaktur papan partikel, sebagai cat dan pelapis, dalam pembuatan busa isolasi dan dalam industri listrik dan penerangan. Sepanjang abad ke-20, resin fenol–formaldehida telah meluas ke beberapa sektor karena berbagai sifat yang menguntungkan, yang dapat disesuaikan sesuai dengan penggunaan akhir. Untuk membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi, banyak modifikasi sintesis telah diadopsi. Misalnya, sifat mekanik telah ditingkatkan dengan menggabungkan berbagai serat dan pengisi, dan sifat termal telah ditingkatkan dengan menggunakan fenol tersubstitusi. Modifikasi baru terus dikembangkan, memungkinkan penciptaan produk berharga baru yang terbuat dari resin fenol–formaldehida (Sarika et al., 2020).

Resin fenol–formaldehida banyak digunakan sebagai perekat di berbagai industri kayu kemudian disintesis melalui kondensasi polimerisasi fenol dan formaldehida dengan menggunakan katalis asam (asam oksalat atau asam klorida) atau basa (natrium hidroksida) untuk menghasilkan resin fenol–formaldehid novolak atau resol (Bansode et al., 2021).

Berdasarkan perbandingan mol reaktan dan jenis katalis yang digunakan, resin fenol–formaldehid dibagi menjadi 2 jenis, yaitu (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008):

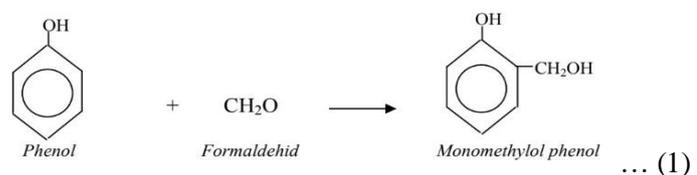
a. Resol

Resol diperoleh dengan polikondensasi dengan katalis basa dan rasio molar fenol/formaldehida 1:>1. Biasanya, mereka digunakan dalam bentuk cair baik dilarutkan dalam air atau dalam larutan organik (alkohol dan keton) (Hesse, n.d.).

Tahap reaksi pembentukan resol, meliputi :

- Reaksi Adisi (Metilolasi)

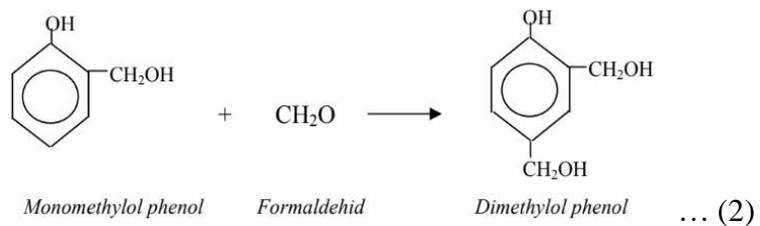
Pada tahap pertama, phenol dan formaldehid akan bereaksi secara adisi membentuk *monomethylol phenol*.



Gambar 1. 3 Reaksi Menjadi *Monomethylol Phenol*

(Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)

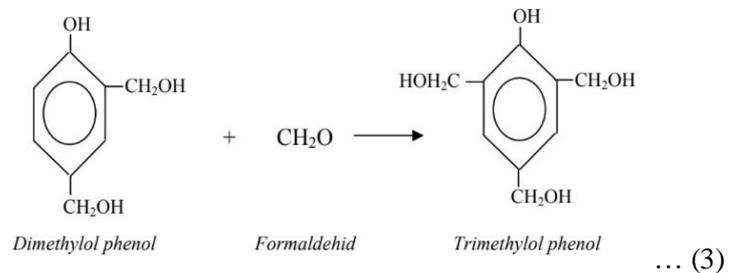
Pada *monomethylol phenol* ini masih ada 2 gugus reaktif yang dapat bereaksi lagi dengan formaldehid menjadi *dimethylol phenol*.



Gambar 1. 4 Reaksi Pembentukan *Dimethylol Phenol*

(Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)

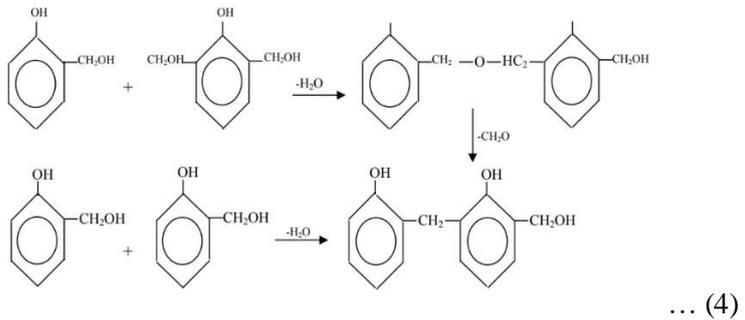
dan pada akhirnya membentuk *trimethylol phenol*.



Gambar 1. 5 Reaksi Pembentukan *Trimethylol Phenol* (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)

- Reaksi Kondensasi Polimerisasi

Monomer dan dimer pada reaksi adisi akan terus bereaksi dan berat molekul dari resin akan meningkat. Resol terbentuk pada suasana basa.



Gambar 1. 6 Reaksi Kondensasi Polimerisasi (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)

b. Novolak Resin

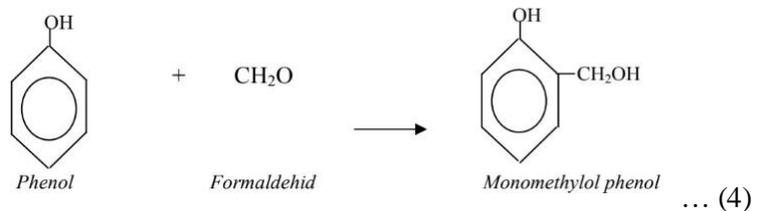
Novolak resin dibuat dengan cara kondensasi fenol dan sejumlah kecil formaldehida dengan katalis asam. Novolak resin dapat berlanjut ke termoset dengan memanaskan dengan formaldehida, yang biasanya diperoleh dengan dekomposisi termal *hexamethylenetetramine* (Carraher Jr., 2007).

Novolak resin diperoleh dengan reaksi polikondensasi dengan katalis asam dan rasio fenol/formaldehida 1:<1. Biasanya novolak adalah padatan dengan titik leleh antara 50°C dan 130°C, yang dapat digunakan dalam bentuk serpihan, pil, resin bubuk atau larutan dalam pelarut organik. Novolak resin sendiri merupakan bahan termoplastik. (Hesse, n.d.).

Tahap reaksi dalam pembentukan novolak resin, meliputi :

- Reaksi Adisi (Methylolasi)

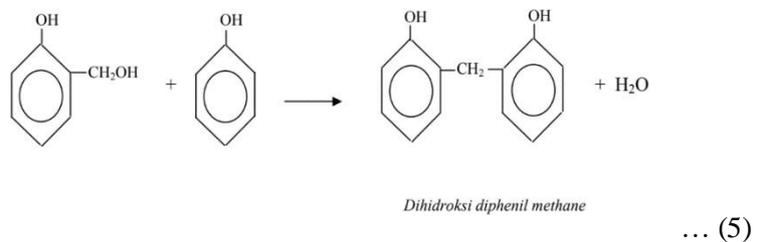
Pada tahap pertama, phenol dan formaldehid akan bereaksi membentuk *monomethylol phenol*.



Gambar 1. 7 Reaksi Methylolasi (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)

- Reaksi Kondensasi Polimerisasi (Metilensi)

Pada tahap ini, gugus *methylol* akan bereaksi dengan *phenol* membentuk jembatan *methylene* dan air.



Gambar 1. 8 Reaksi Metilensi (Rokhati & Prasetyaningrum, 2008)

1.3.2 Pemilihan Proses

Ditinjau dengan membandingkan jenis katalis yang akan digunakan kemudian dilakukan spesifikasi dari masing-masing katalis terhadap kriteria yang diperoleh sebagai berikut :

Tabel 1. 8 Pemilihan Proses Berdasarkan Jenis Katalis (Zhao et al., 2013)

No.	Kriteria Pemilihan	Jenis Katalis		
		Asam Sulfat	Asam Klorida	Asam Oksalat
1.	Sifat Korosif	Korosif	Korosif	Kurang Korosif
2.	Efek Katalitik	Kuat	Kuat	Tidak Cukup Kuat
3.	Likuifikasi	Sangat Efektif	Efektif	Kurang Efektif
4.	Biaya Peralatan	Ekonomis	Ekonomis	Tidak Ekonomis
5.	Residu	Sangat Rendah	Rendah	Tinggi

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Alma dkk., mereka membandingkan hasil residu dari tiga jenis katalis berbeda dalam reaksi tersebut. Residu ini memiliki nilai penting dalam mengevaluasi keberhasilan reaksi. Dengan membandingkan pada saat suhu yang sama, bahwa penggunaan katalis asam sulfat menghasilkan residu sebanyak 33% (Alma et al., 1998), sementara katalis asam klorida menghasilkan residu sebanyak 40% (Alma et al., 1996b), dan katalis asam oksalat menghasilkan residu sebanyak 50% (Alma et al., 1996a).

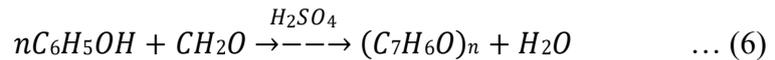
Sehingga, dari perbandingan katalis tersebut yang memungkinkan baik digunakan untuk proses pembuatan novolak resin adalah katalis asam sulfat.

1.3.3 Proses Pembuatan Produk

Pembuatan novolak resin merupakan reaksi antara fenol dan formaldehid dengan menggunakan bantuan katalis asam sulfat (H_2SO_4). Novolak resin

diproduksi dengan memanaskan 1 mol fenol dengan 0,8 mol formaldehida dengan katalis asam sulfat (Carragher Jr., 2007).

Reaksi :



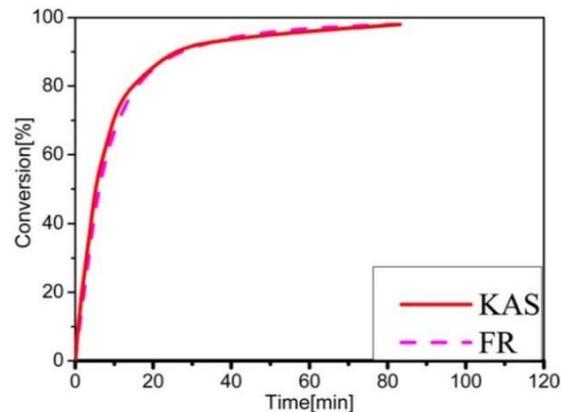
Fenol Formaldehida Novolak Air

Dalam proses pembuatan novolak, fenol cair ditempatkan ke dalam reaktor, diikuti oleh jumlah katalis asam yang tepat. Larutan formaldehida ditambahkan pada suhu mendekati 90°C dan rasio molar formaldehida terhadap fenol 0,75:1 hingga 0,85:1. Untuk alasan keamanan, penambahan formaldehida yang lambat atau bertahap lebih aman daripada menambahkan seluruh muatan sekaligus. Entalpi reaksi berada di atas 80 kJ/mol (19 kkal/mol).

Reaksi selesai setelah 6-8 jam pada 95°C volatil, air, dan beberapa fenol bebas dihilangkan dengan pengupasan vakum hingga 140–170°C. Untuk resin yang membutuhkan fenol hanya dalam jumlah kecil, seperti pengeras *epoxy*, distilasi uap dapat digunakan. Baik air dan fenol bebas mempengaruhi kehilangan dan sifat resin akhir, yang dipantau dalam pengujian kontrol kualitas rutin oleh *gas chromatography*. Asam sulfat dan sulfonat adalah katalis yang kuat dan membutuhkan netralisasi dengan kapur; 0,1 bagian asam sulfat per 100 bagian fenol digunakan (Kirk-Othmer, 1998).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang, dkk. diperoleh grafik hubungan antara konversi dengan waktu reaksi yang berlangsung pada

suhu 140°C dan tekanan 1 atm. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa untuk memperoleh konversi sebesar 98%, diperoleh pada saat waktu tinggal 70 menit.



Gambar 1. 9 Grafik Hubungan antara Konversi dan Waktu Reaksi (Zhang et al., 2011)

Sehingga, untuk proses pembuatan produk novolak resin digunakan reaktor kontinyu dengan kondisi operasi pada suhu 140°C dan tekanan 1 atm. Dengan waktu tinggal 70 menit.

1.3.4 Kegunaan Produk

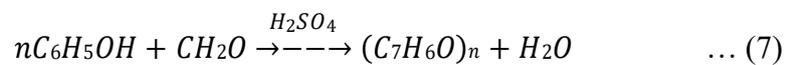
Novolak resin digunakan pada berbagai industri dengan berbagai kegunaan seperti (Pizzi & Mittal, 2003) :

1. Pelarut dalam industri cat, lak dan pernis.
2. Bahan perekat, khusus untuk kayu lapis dan *particle board*.
3. Pelarut pada cetakan, *laminating* dan panel pada dinding dekorasi.

1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

1.4.1. Tinjauan Kinetika

Reaksi pembentukan novolak resin dari fenol dan formaldehid berlangsung secara eksotermis. Ditinjau dari kinetika reaksi antara phenol dan formaldehid termasuk reaksi orde 2, dan *irreversible* (Uyigue & Kubianga, 2018). Reaksi yang terjadi :



Maka dari persamaan Arrhenius yaitu :

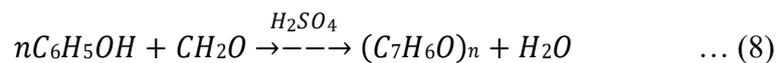
$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

Didapatkan nilai $k = 13,792 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$ (Zhang et al., 2011).

1.4.2. Tinjauan Termodinamika

Harga tetapan konstanta kesetimbangan (K) dapat ditinjau melalui persamaan Gibbs (Smith et al., n.d.):

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$



Tabel 1. 9 Data Energi Gibbs Masing-Masing Komponen (Yaws, 1999)

Komponen	ΔG_f°, kJ/mol
CH ₂ O	-109,91 kJ/mol
C ₆ H ₅ OH	-32,89 kJ/mol
(C ₇ H ₆ O) _n	22,40 kJ/mol
H ₂ O	-228,60 kJ/mol

Maka energi Gibbs :

$$\begin{aligned} \Delta G_f^\circ &= \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= ((22,40) + (-228,60)) - ((-109,91) + (-32,89)) \text{ kJ/mol} \\ &= -63,4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta G_f^\circ = -RT \ln K$$

$$-63400 \text{ J/mol} = -8,314 \text{ J/(mol.K)} \times 298 \text{ K} \times \ln K$$

$$\ln K = 25,58957$$

$$K = 1,2984 \times 10^{11}$$

Tabel 1. 10 Data Panas Pembentukan Standar Masing-Masing
Komponen (Yaws, 1999)

Komponen	ΔG_F° , kJ/mol
CH ₂ O	-115,90 kJ/mol
C ₆ H ₅ OH	-96,36 kJ/mol
(C ₇ H ₆ O) _n	-36,80 kJ/mol
H ₂ O	241,80 kJ/mol

Diperoleh panas pembentukan standar (ΔH_{298}) :

$$\begin{aligned}\Delta H_f &= \Delta H_{produk} - \Delta H_{reaktan} \\ &= ((-36,80) + (-241,80)) - ((-96,36) + (-115,90)) \text{ kJ/mol} \\ &= -66,34 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

ΔH_f° yang diperoleh bernilai negatif, maka reaksi tersebut bersifat eksotermis.

Melalui persamaan Van Ness (2001), besarnya konstanta kesetimbangan dapat diperoleh melalui rumus :

$$\begin{aligned}\ln \frac{K_{368}}{K_{298}} &= -\frac{\Delta H_{298}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{298}} \right) \\ \ln \frac{K_{368}}{1,2984 \times 10^{11}} &= \frac{66340 \text{ J/mol.K}}{8,314 \text{ J/mol.K}} \left(\frac{1}{368} - \frac{1}{298} \right) \\ \ln \frac{K_{368}}{1,2984 \times 10^{11}} &= -5,0933 \\ \frac{K_{368}}{1,2984 \times 10^{11}} &= 0,0061377\end{aligned}$$

$$K_{368} = 7,9692 \times 10^8$$

Karena harga konstanta kesetimbangan besar, maka reaksi yang berlangsung kearah kanan (*irreversible*).

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

Untuk memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan standar dan keinginan pasar, maka perancangan pabrik novolak resin ini didasarkan pada variabel yaitu, spesifikasi bahan baku, spesifikasi produk dan pengendalian kualitas.

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1. Novolak Resin

a. Sifat fisika :

Rumus molekul	: $(C_7H_6O)_n$
Fasa	: Cair
Warna	: Kuning transparan
Berat molekul	: 800 - 1000 g/mol
Titik didih	: 200 °C
Titik lebur	: 55,5 °C
Kelarutan	: <1% larut dalam air

b. Sifat kimia

- Terurai terhadap asam kuat

c. Keselamatan bahan

- Identifikasi bahaya sesuai MSDS

- *Health hazard* 1

Beracun bila tertelan, menyebabkan kulit terbakar parah, dapat menyebabkan kerusakan pada organ melalui paparan yang lama atau berulang.

- *Fire hazard* 1

Cairan mudah terbakar.

- *Instability hazard* 0
- *Spesific hazard* :-

- Pencegahan

- Ketika tingkat paparan level tidak diketahui, kenakan respirator yang cocok untuk level paparan.
- Mencuci tangan sampai bersih setelah memegang.
- Menggunakan proteksi untuk pernapasan seperti *full face mask*, proteksi untuk mata/muka seperti *face shield*, menghindari kontak kulit, serta menggunakan pakaian yang protektif, serta menggunakan sarung tangan.

- Penyimpanan

- Simpan di tempat yang sejuk dan kering
- Ruang penyimpanan harus berventilasi baik
- Gunakan wadah tertutup rapat
- Jauhkan dari sumber percikan api

- Lakukan tindakan pencegahan terhadap pemuatan elektrostatik-pembumihan diperlukan selama operasi pemuatan.

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1 Fenol

a. Sifat fisika :

Rumus molekul	: C_6H_5OH
Fasa	: Cair
Warna	: Berwarna
Berat molekul	: 94,11 g/mol
Titik didih (1 atm)	: 181,84 °C
Titik beku (1 atm)	: 40,91 °C
Densitas	: 1,07 g/ml
Kelarutan dalam air	: Larut
Kemurnian	: 99%
Impuritas	: 1%

b. Sifat kimia :

- Nitrasasi fenol dengan HNO_3 encer menghasilkan isomer orto para.
- Reaksi antara dimetil eter/dietil sulfat dalam keadaan netral atau alkali lemah akan membentuk Sulfat Eter yaitu Anisol ($C_6H_5OCH_3$).

- Uap lebih berat dari pada udara dan bisa merebak di atas lantai.
- Membentuk campuran yang dapat meledak dengan udara pada pemanasan terus-menerus.

c. Keselamatan bahan :

- Identifikasi bahaya sesuai MSDS

- *Health hazard* 3

Toksik bila tertelan, terkena kulit atau bila terhirup, menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata, diduga menyebabkan kerusakan genetik, dapat menyebabkan kerusakan pada organ (sistem saraf pusat, ginjal, hati, kulit) melalui perpanjangan atau paparan berulang.

- *Fire hazard* 2

Amat mudah menyala.

- *Instability hazard* 0

- *Spesific hazard* :-

- Pencegahan

- Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung /pelindung mata/pelindung wajah.
 - Jauhkan dari nyala terbuka, permukaan panas, dan sumber penyulut.

- Lakukan dengan hati-hati tindakan melawan lucutan statis.
- Penyimpanan
 - Lindungi dari cahaya.
 - Tertutup sangat rapat dan kering.
 - Simpan di tempat yang berventilasi baik.
 - Simpan dalam tempat terkunci atau di tempat yang hanya bisa dimasuki oleh orang-orang yang mempunyai kualifikasi atau berwenang.

2.2.2 Formaldehid

a. Sifat fisika :

Rumus molekul	: CH ₂ O
Fasa	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Berat molekul	: 30,026 g/mol
Titik didih (1 atm)	: 94-100 °C
Densitas uap	: ≈ 1 (Air = 1)
Kelarutan dalam air	: Larut dalam air
Kemurnian	: 37%
Impuritas	: 63%

b. Sifat kimia :

- Berifat karsinogenik.
- Bersifat muntagen.

- Korosif.
- Reaksi dengan asetaldehid dalam larutan NaOH dapat membentuk pentaerethyritol dan sodium format.
- Bereaksi dengan air dapat membentuk metilen glikol.

c. Keselamatan bahan :

- Identifikasi bahaya sesuai MSDS

- *Health hazard* 3

Toksik bila tertelan, toksik jika terkena kulit, menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata, dapat menyebabkan reaksi alergi pada kulit, toksik jika terhirup, dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan, diduga menyebabkan kerusakan genetik, dapat menyebabkan kanker.

- *Fire hazard* 2

Amat mudah-menyala.

- *Instability hazard* 0

- *Specific hazard* :-

- Pencegahan

- Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/pelindung mata/pelindung wajah.
 - Jangan menghirup zat/campuran.
 - Hindari terbentuknya uap/aerosol.

- Jauhkan dari nyala terbuka, permukaan panas, dan sumber penyulut.
- Lakukan dengan hati-hati tindakan melawan lucutan statis.
- Penyimpanan
 - Wadah yang tidak mengandung logam.
 - Tertutup sangat rapat.
 - Lindungi dari cahaya.
 - Ruang berventilasi baik.
 - Simpan dalam tempat terkunci atau di tempat yang hanya bisa dimasuki oleh orang-orang yang mempunyai kualifikasi atau berwenang.

2.2.3 Asam Sulfat

a. Sifat fisika :

Rumus molekul	: H_2SO_4
Fasa	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Berat molekul	: 98,079 g/mol
Titik didih (1 atm)	: 336,85 °C
Titik beku (1 atm)	: 10,31 °C
Densitas	: 1.833 (pada 25°C)
Kelarutan dalam air	: Sangat larut
Kemurnian	: 98%

Impuritas : 2%

b. Sifat kimia :

- Dapat korosif terhadap logam.
- Potensi mengoksidasi.
- Memiliki kemampuan dehidrasi sehingga menyebabkan pembentukan hidrat.
- Dengan basa membentuk garam dan air.
- Dengan garam membentuk garam dan asam lain.

c. Keselamatan bahan :

- Identifikasi bahaya sesuai MSDS

- o *Health hazard* 3

- Menyebabkan kulit terbakar yang parah, kerusakan mata yang serius dengan resiko kebutaan.

- o *Fire hazard* 0

- o *Instability hazard* 2

- Memiliki efek korosif, zat pengoksidasi kuat.

- o *Specific hazard* :-

- Pencegahan

- o Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/pelindung mata/pelindung wajah.
 - o Jangan menghirup zat/campuran.
 - o Hindari terbentuknya uap/aerosol.

- Jauhkan dari nyala terbuka, permukaan panas, dan sumber penyulut.
- Lakukan dengan hati-hati tindakan melawan lucutan statis.
- Penyimpanan
 - Wadah yang tidak mengandung logam.
 - Tertutup sangat rapat.
 - Simpan di bawah kondisi ruangan standar (suhu kamar).

2.2.4 Natrium Hidroksida

a. Sifat fisika :

Rumus molekul	: NaOH
Fasa	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Berat molekul	: 39,997 g/mol
Titik didih (1 atm)	: 134 °C (pada tekanan 1 atm)
Titik beku (1 atm)	: 12,1 °C
Densitas	: 1,84 g/ml (pada 25°C)
Kelarutan dalam air	: Larut
Kemurnian	: 48%
Impuritas	: 52%

b. Sifat kimia :

- Korosif terhadap logam.

- Bersifat higroskopik.
- Dengan asam membentuk garam dan air.
- Dengan etanol akan menghasilkan natrium etanoat.

c. Keselamatan bahan :

- Identifikasi bahaya sesuai MSDS

- *Health hazard* 3

Menyebabkan kulit terbakar parah.

- *Fire hazard* 0

- *Instability hazard* 1

Bersifat korosif.

- *Specific hazard* :-

- Pencegahan

- Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/pelindung mata/pelindung wajah.
- Pakaian pelindung tahan asam.
- Jauhkan dari air atau udara lembab.
- Hindari terkena kulit langsung.

- Penyimpanan

- Tertutup sangat rapat.

Kering.

- Bukan wadah aluminium, timah atau seng.

○

2.2.5 Air

a. Sifat fisik (Yaws, 1999):

Rumus molekul	: H ₂ O
Fasa	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Berat molekul	: 18,015 g/mol
Titik didih (1 atm)	: 100°C
Titik beku (1 atm)	: 0°C
Densitas	: 1,02 g/ml (pada 25°C)

b. Sifat kimia :

- Merupakan senyawa kovalen polar.
- Bersifat netral (pH=7) dalam keadaan murni.

c. Keselamatan bahan :

- Identifikasi bahaya sesuai MSDS
 - o *Health hazard* 0
 - o *Fire hazard* 0
 - o *Instability hazard* 0
 - o *Specific hazard* :-
- Penyimpanan
 - o Tertutup sangat rapat
 - o Suhu penyimpanan yang direkomendasikan, simpan pada 5°C hingga 30°C

2.3 Pengendalian Kualitas

Dalam proses menciptakan suatu produk yang berkualitas sesuai dengan standar dan selera konsumen, seringkali masih terjadi penyimpangan yang tidak dikehendaki oleh perusahaan sehingga menghasilkan produk rusak yang tentunya akan sangat merugikan perusahaan. Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan suatu sistem pengendalian kualitas agar dapat meminimalisir terjadinya kerusakan produk (*product defect*) sampai pada tingkat kerusakan nol (*zero defect*) (Suprianto, 2016).

Pengendalian kualitas produk merupakan suatu sistem pengendalian yang dilakukan dari tahap awal suatu proses sampai produk jadi (Andi Djemma Palopo, 2018).

Dengan adanya pengendalian kualitas diharapkan produk yang dihasilkan dapat terkendali sehingga perusahaan dapat dengan cepat mengetahui penyebab apabila terjadi kerusakan produk dan dapat segera menyelesaikan dan meninjau ulang permasalahan yang ada sehingga dengan begitu tidak mengganggu proses produksi dan dapat mempertahankan kualitas produk yang dihasilkan. Pada pabrik novolak resin ini pengendalian kualitas dilakukan dari tahap awal hingga tahap akhir yaitu pengendalian kualitas bahan baku, alat proses, proses produksi dan juga produk yang dihasilkan.

2.3.1 Bahan Baku

Bahan baku merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi suatu produk dari proses produksi tertentu. Pengendalian bahan baku adalah tahapan

awal yang harus dilakukan dalam suatu proses pengendalian kualitas. Pengendalian kualitas bahan baku perlu dilakukan pada awal proses sebelum bahan baku memasuki unit-unit proses guna mengetahui kelayakan dan kualitas bahan baku. Oleh karena itu, bahan baku fenol, formaldehid dan juga bahan pendukung lainnya perlu dilakukan pengendalian kualitas agar kelayakan dan juga spesifikasinya dapat terus terkendali dan nantinya produk yang dihasilkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Selain itu, ketersediaan bahan baku harus selalu di kontrol guna menghindari kekurangan bahan baku dan juga memastikan proses produksi berjalan lancar. Apabila dalam proses pengendalian kualitas terdapat beberapa bahan baku yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan maka bahan baku tersebut tidak akan digunakan dalam proses produksi.

2.3.2 Alat Proses

Pengendalian kualitas pada alat-alat yang digunakan pada proses produksi juga perlu dilakukan. Pada awal pendirian pabrik alat dipilih alat dengan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan selama proses produksi berlangsung. Pada pabrik novolak resin ini alat yang digunakan meliputi alat utama, alat penunjang serta unit utilitas. Alat-alat yang digunakan pada proses produksi harus selalu dalam kondisi baik dikarenakan jika terdapat salah satu alat yang kondisinya kurang baik maka dapat mengganggu proses produksi seluruh alat. Kerusakan pada alat-alat dapat dihindari dengan selalu melakukan pengendalian kualitas pada alat-alat produksi dan juga perawatan secara berkala. Perawatan pada mesin adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk

menjaga suatu mesin agar dapat tetap bekerja dengan optimal seperti kondisi awalnya (Teknik Juli et al., n.d.).

2.3.3 Proses Produksi

Pada proses produksi perlu dilakukan pengendalian kualitas agar proses yang berjalan sesuai *set point* yang telah ditentukan. Diperlukan alat kontrol untuk setiap proses yang berlangsung yaitu instrumentasi. Instrumentasi merupakan alat yang digunakan pada suatu proses kontrol yang berfungsi untuk mengatur suatu proses produksi agar jalannya proses produksi sesuai dengan yang diharapkan. Alat instrumentasi dipasang pada setiap alat proses dan proses pengendalian berpusat pada *control room*. Hal tersebut untuk memudahkan *engineer* mengontrol proses produksi sehingga apabila terjadi penyimpangan pada proses produksi dapat segera diketahui dan langsung mengambil tindakan. Pada pabrik novolak resin ini pengendalian kualitas dilakukan pada beberapa parameter, yaitu:

a. Suhu

Pada proses produksi pengendalian suhu dilakukan dengan instrumen *Temperature Controller* (TC) yang dipasang pada setiap alat proses yang berfungsi untuk mengamati dan juga mengatur suhu pada alat tersebut.

b. Tinggi Cairan

Pada proses produksi pengendalian tinggi cairan pada tangki dilakukan dengan instrumen *Level Controller* (LC) yang dipasang pada alat berbentuk tangki yang menampung air yang berfungsi untuk

mengamati dan mengatur tinggi cairan yang ada pada dalam tangka tersebut.

c. Tekanan

Pada proses produksi pengendalian tekanan dilakukan dengan instrumen *Pressure Controller* (PC) yang dipasang pada setiap alat proses yang berfungsi untuk mengamati dan juga mengatur tekanan pada alat tersebut.

d. Laju Alir

Pada proses produksi pengendalian laju alir dilakukan dengan instrumen *Flow Controller* (FC) yang dipasang pada setiap alat proses yang berfungsi untuk mengamati dan juga mengatur laju alir umpan dan produk pada alat tersebut.

2.3.4 Produk

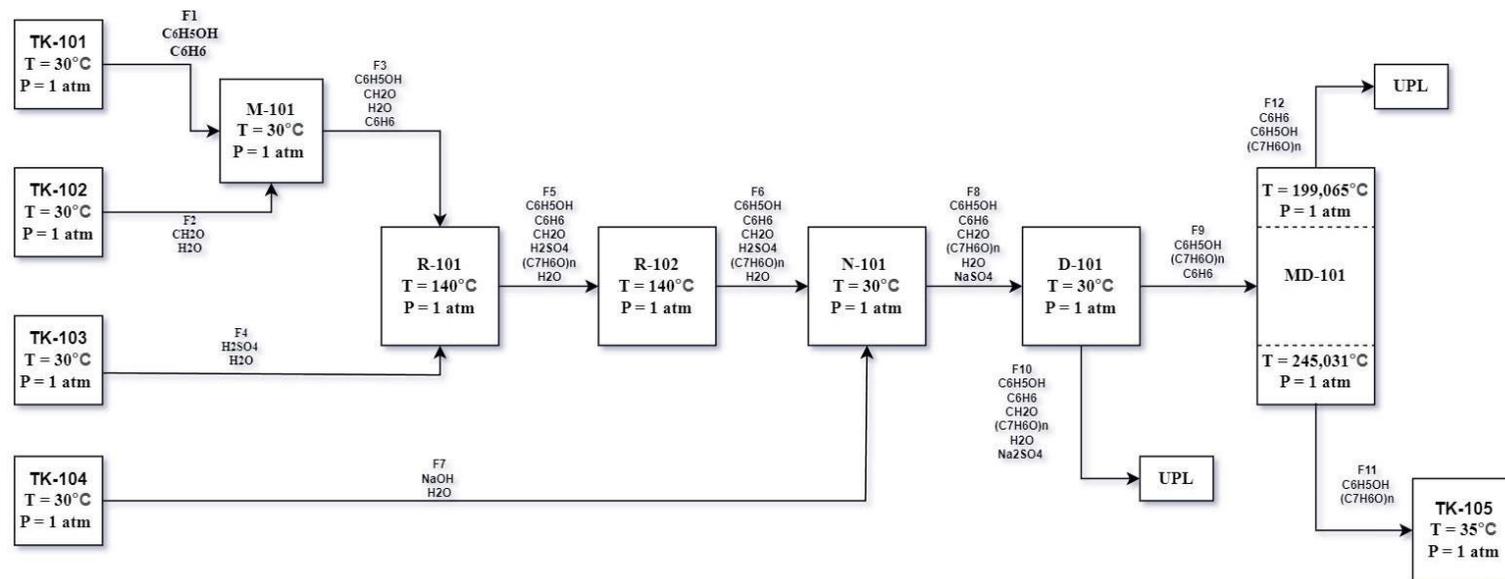
Kualitas dari produk yang telah dihasilkan harus selalu dikontrol kualitasnya. Pengendalian kualitas pada produk ini bertujuan agar produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi awal yang telah ditentukan oleh pabrik agar produk dapat bersaing di pasar. Salah satu pengawasan dan juga pengendalian pada produk dapat dilakukan dengan cara pengendalian kualitas yang sesuai dengan standar ISO 9001:2015 - Sistem Manajemen Mutu.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

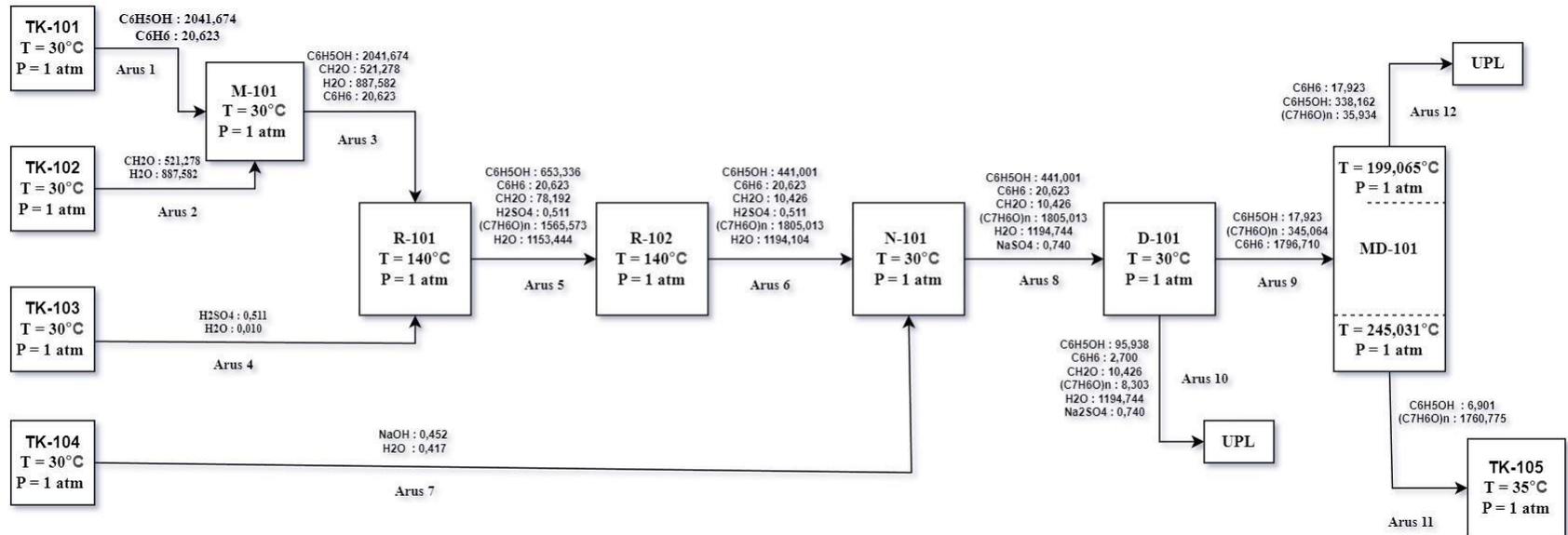
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Proses



Gambar 3. 1 Diagram Alir Proses

3.1.2 Diagram Alir Material



*) Satuan laju alir material dalam Kg/Jam

Gambar 3. 2 Diagram Alir Material

3.2 Uraian Proses

Proses produksi novolak resin ini mengalami beberapa tahapan, yaitu tahapan persiapan bahan baku, tahapan reaksi dan tahap pemurnian produk novolak resin.

3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Pada proses industri pembuatan novolak resin dengan kapasitas 14.000 ton/tahun, bahan baku yang digunakan adalah fenol, formaldehid, asam sulfat dan natrium hidroksida. Fenol yang disimpan dalam tangki bahan baku (T-01) dengan suhu 30°C dan tekanan 1 atm, hal ini untuk menjaga kondisi fenol tetap dalam kondisi cair dengan kemurnian 99%. Lalu, Formaldehid disimpan dalam tangki bahan baku (T-02) dengan suhu 30°C pada tekanan 1 atm. Hal ini dilakukan agar menjaga kondisi formaldehid tetap dalam kondisi cair dengan kemurnian 37%.

Dari tangki (T-01) dan (T-02) yang masing-masingnya terdapat bahan baku berupa fenol dan formaldehid dengan kondisi temperatur 30°C dan tekanan 1 atm tersebut dialirkan menggunakan pompa (P-01) dan (P-02) menuju ke *Mixer* (M-01) untuk dilarutkan. Larutan keluaran *Mixer* (M-01) dipanaskan dengan menggunakan *Heater* (HE-01) terlebih dahulu sampai suhu 140°C, hal ini bertujuan untuk menyesuaikan kondisi operasi pada tahapan selanjutnya yaitu tahap reaksi dalam Reaktor (R-01), dengan jenis Raktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) yang beroperasi pada suhu 140°C dengan tekanan 1 atm.

Asam sulfat (H_2SO_4) yang disimpan dalam tangki bahan baku (T-03) dengan suhu 30°C pada tekanan 1 atm dialirkan menggunakan pompa (P-03) menuju *Heater* (HE-02) untuk dipanaskan terlebih dahulu sampai suhunya menjadi 140°C sesuai dengan kondisi operasi reaktor.

Natrium hidroksida (NaOH) yang disimpan dalam tangki bahan baku (T-04) dengan suhu 30°C pada tekanan 1 atm dialirkan menggunakan pompa (P-03) menuju ke *Neutralizer* (N-01).

3.2.2 Tahap Reaksi

Reaksi antara fenol dan formaldehid merupakan reaksi orde 2 yang bersifat eksotermis yang terjadi didalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) dengan menggunakan katalis asam sulfat. Reaksi berlangsung pada kondisi 1 atm dengan suhu operasi 140°C , karena reaksi di dalam Reaktor (R-01) berlangsung secara eksotermis, maka diperlukan jaket pendingin untuk menjaga suhunya agar tetap konstan.

Larutan umpan reaktor terdiri dari larutan hasil keluaran *Mixer* (M-01), dan larutan asam sulfat (katalis). Rasio mol bahan baku yang masuk antara fenol dan formaldehid adalah 1 : 0,8. Untuk mempercepat laju reaksi, maka ditambahkan katalis asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 1% dari fenol yang masuk ke dalam reaktor. Konversi yang dihasilkan dari reaksi ini sebesar 98%.

Pemilihan jumlah reaktor didasarkan pada kapasitas produksi sedangkan untuk pemilihan tipe reaktor didasarkan pada fase reaktan dan kondisi operasi, melalui optimasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa akan digunakan 2 reaktor

yang berjenis Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) yang dilengkapi oleh jaket pendingin.

3.2.3 Tahap Penetralan

Produk keluaran Reaktor (R-02) dengan suhu 140°C dan tekanan 1 atm di alirkan ke pompa untuk menuju ke *Neutralizer* (N-01) untuk menetralkan asam sulfat (H_2SO_4) dengan menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). Namun sebelum ke *Neutralizer* (N-01), hasil keluaran dari Reaktor (R-01) di pompa (P-04) menuju *Cooler* (CL-01) terlebih dahulu untuk menurunkan suhu sesuai dengan kondisi operasi hingga 30°C .

Natrium Hidroksida (NaOH) yang telah disiapkan dari tahap persiapan bahan baku, diumpankan menuju ke *Neutralizer* (N-01). Selanjutnya terjadi proses penetralan antara H_2SO_4 dengan NaOH sehingga menghasilkan Na_2SO_4 . Karena proses yang berlangsung di dalam *Neutralizer* (N-01) secara eksotermis, maka diperlukan jaket pendingin untuk menjaga suhunya agar tetap konstan.

3.2.4 Tahap Pemurnian Produk

Produk dari *Neutralizer* (N-01) dipisahkan fraksi berat dan fraksi ringannya dengan menggunakan Dekanter (DE-01), fraksi berat terdiri dari $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, $(\text{C}_7\text{H}_6\text{O})_n$, C_6H_6 sedangkan fraksi ringan terdiri dari $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, C_6H_6 , CH_2O , $(\text{C}_7\text{H}_6\text{O})_n$, H_2O , Na_2SO_4 . Fraksi ringan keluar sebagai hasil bawah yang akhirnya dialirkan menuju Unit Pengolahan Limbah (UPL). Fraksi berat keluar sebagai hasil atas dialirkan menuju Menara Distilasi (MD-01) kemudian dialirkan dengan pompa (P-08) menuju *Heater* (HE-04) untuk menaikkan

suhunya dari 30°C menjadi 220,526°C, selanjutnya produk dialirkan menuju Menara Distilasi (MD-01) dengan tekanan operasi sebesar 1 atm.

Fungsi alat Menara Distilasi (MD-01) ialah untuk memisahkan produk novolak resin dari produk sampingnya. Prinsip pemisahan dalam Menara Distilasi (MD-01) adalah pemisahan berdasarkan titik didih. Hasil keluaran keluaran bawah Menara Distilasi (MD-01) ialah produk novolak resin yang kemudian didinginkan terlebih dahulu dengan menggunakan *Cooler* (CL-02) sebelum masuk ke tangki penyimpanan produk (T-05) dengan kondisi penyimpanan pada suhu 35°C dan tekanan 1 atm. Sedangkan hasil atas dari Menara Distilasi (MD-01) ialah produk samping berupa campuran fenol dan benzene, serta sisa novolak lalu dialirkan menuju Unit Pengolah Limbah (UPL).

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Reaktor

Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor

REAKTOR		
Spesifikasi Umum		
Kode	R – 01	R – 02
Fungsi	Mereaksikan fenol dan formaldehid dengan katalisnya asam sulfat	Mereaksikan fenol dan formaldehid dengan katalisnya asam sulfat
Jenis/Tipe	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)
Mode Operasi	Kontinyu	Kontinyu
Jumlah, unit	1 unit	1 unit
Harga, Rp	111.273.472.834	26.275.378.723
Kondisi Operasi		
Suhu, °C	140	140

Tekanan, atm	1	1
Kondisi Proses	<i>isothermal</i>	<i>isothermal</i>
Konstruksi dan Material		
Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel SA – 167 grade 11 type 316</i>	<i>Stainless steel SA – 167 grade 11 type 316</i>
Diameter (ID) shell, m	2,657	2,657
Tebal shell, in	0,250	0,250
Tinggi total, m	3,730	3,730
Jenis head	<i>Torispherical flanged and dished head</i>	<i>Torispherical flanged and dished head</i>
Insulasi		
Bahan	Air pendingin	Air pendingin
Konduktifitas panas, W/m.K	7,356	7,356
Spesifikasi Khusus		
Tipe pengaduk	<i>Flat blade turbine impellers with six blade</i>	<i>Flat blade turbine impellers with six blade</i>
Diameter pengaduk, m	0,886	0,886
Jarak pengaduk, m	0,886	0,886
Tinggi pengaduk, m	0,531	0,531
Lebar pengaduk, m	0,221	0,221
Kecepatan pengadukan (rpm)	84	84
Power/tenaga pengadukan, hp	15	15
Jumlah <i>Baffle</i> , buah	4	4
Lebar <i>Baffle</i> , m	0,221	0,221
Mode Transfer Panas		
UD, W/m ² .K	5,737	5,737
Luas Area Transfer Panas, m ²	31,683	31,683
Tebal Jacket, m	0,006	0,006

3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah dan Operasi Pendukung

a. Mixer

Tabel 3. 2 Spesifikasi *Mixer*

MIXER	
Spesifikasi Umum	
Kode	M – 01
Fungsi	Menyampurkan fenol dan formaldehid
Tipe	<i>Torispherical flanged and dished head</i>
Jumlah, unit	1
Harga, Rp	74.268.536
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi dan Material	
Bahan konstruksi	<i>Stainless steel SA – 167 grade 11 type 316</i>
Diameter (ID) <i>shell</i> , m	0,969
Tebal <i>shell</i> , m	0,188
Tinggi total, m	1,423
Spesifikasi Khusus	
Tipe pengaduk	<i>Flat blade turbine impellers with six blade</i>
Diameter pengaduk, m	0,323
Jarak pengaduk, m	0,323
Tinggi pengaduk, m	0,194
Lebar pengaduk, m	0,081
Kecepatan pengadukan, rpm	320
Power/tenaga pengaduk, hp	5
Jumlah <i>baffle</i> , buah	4
Lebar <i>baffle</i> , m	0,081

b. *Neutralizer*

Tabel 3. 3 Spesifikasi *Neutralizer*

NEUTRALIZER	
Spesifikasi Umum	
Kode	N – 01
Fungsi	Menetralkan NaOH dengan penetral larutan H ₂ SO ₄
Jumlah, unit	1
Harga, Rp	297.074.143
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	<i>Stainless steel SA – 167 grade 11 type 316</i>
Diameter (ID) <i>shell</i> , m	1,575
Tebal <i>shell</i> , in	0,188
Tinggi total, m	2,249
Jenis <i>head</i>	<i>Torispherical flanged and dished head</i>
Insulasi	
Bahan	Air pendingin
Konduktifitas panas, W/m.K	1,295
Spesifikasi Khusus	
Tipe pengaduk	<i>Flat blade turbines impellers with six blade</i>
Diameter pengaduk, m	0,525
Jarak pengaduk, m	0,525
Tinggi pengaduk, m	0,316
Lebar pengaduk, m	0,132
Kecepatan pengadukan (rpm)	155
Power/tenaga pengadukan, hp	8
Jumlah <i>Baffle</i>	4

Lebar <i>Baffle</i>	0,132
Mode Transfer Panas	
UD, W/m ² .K	283,915
Luas Area Transfer Panas, m ²	12,088
Tebal Jacket, m	0,005

c. Dekanter

Tabel 3. 4 Spesifikasi Dekanter

DEKANTER	
Spesifikasi Umum	
Kode	D – 01
Fungsi	Memisahkan keluaran <i>neutralizer</i> menjadi fasa ringan dan fasa berat
Jenis	<i>Horizontal decanter</i>
Material	<i>Stainless steel SA – 167 grade 11 type 316</i>
Harga, Rp	58.955.887
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	1
Spesifikasi	
<i>Shell</i>	
Diameter (ID) <i>shell</i> , m	0,719
Panjang <i>shell</i> , m	1,439
Tebal <i>shell</i> , m	0,188
<i>Head</i>	
Jenis <i>head</i>	<i>Torispherical</i>
Tinggi <i>head</i> , m	0,132
Tebal <i>head</i> , m	0,188

d. Menara Distilasi

Tabel 3. 5 Spesifikasi Menara Distilasi

MENARA DISTILASI		
Spesifikasi Umum		
Kode	MD – 01	
Fungsi	Memurnikan produk novolak	
Jenis	<i>Multicomponent distillation</i>	
Tipe	<i>tray</i>	
Kondisi Operasi		
	Suhu, °C	Tekanan, atm
Umpan	220,526	1
Distilat	199,065	1
<i>Bottom</i>	245,072	1
Spesifikasi		
<i>Shell</i>		
Diameter (ID) <i>shell</i> , m	0,483	
Tinggi <i>shell</i> , m	5,341	
Tebal <i>shell</i> , in	0,188	
Material	<i>Stainless steel</i>	
<i>Head</i>		
Jenis <i>head</i>	<i>Torispherical</i>	
Tebal <i>head</i> , in	0,188	
Material	<i>Stainless steel</i>	
Tipe Tray		
Jenis <i>tray</i>	<i>sieve</i>	
<i>Feed plate</i>	6	
Jumlah <i>plate</i> actual, buah	9	
Susunan <i>hole</i>	<i>triangular</i>	
Diameter <i>hole</i> , m	0,005	
<i>Tray spacing</i> , m	0,3	

Jumlah lubang, buah	357
Jumlah	1 unit
Harga, Rp	1.661.769.947

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

a. Tangki

Tabel 3. 6 Spesifikasi Tangki

Spesifikasi	Tangki				
	T – 01	T – 02	T – 03	T – 04	T – 05
Kode					
Fungsi peruntukan alat	Menyimpan C ₆ H ₅ OH	Menyimpan CH ₂ O	Menyimpan H ₂ SO ₄	Menyimpan NaOH	Menyimpan produk
Lama penyimpanan, hari	7	7	14	14	7
Fasa	Cair	Cair	Cair	Cair	Cair
Jumlah tangki, unit	5				
Jenis tangki	Silinder tegak	Silinder tegak	Silinder tegak	Silinder tegak	Silinder tegak
Kondisi operasi					
Suhu, °C	30	30	30	30	35
Tekanan, atm	1	1	1	1	1
Spesifikasi					
Bahan konstruksi	<i>Stainless steel SA-240 type 316</i>	<i>Stainless steel SA-240 type 316</i>	<i>Stainless steel SA-240 type 316</i>	<i>Stainless steel SA-240 type 316</i>	<i>Stainless steel SA-240 type 316</i>

Volume tangki, m³	640,719	489,681	27,028	27,028	489,681
Diameter, m	12,192	10,668	3,048	3,048	10,668
Tinggi, m	5,486	5,486	3,658	3,658	5,486
Jumlah course	3	3	2	2	3
Tebal shell, in	<i>Course 1 (18 ft) : 0,25 in</i>	<i>Course 1 (18 ft) : 0,3125 in</i>	<i>Course 1 (12 ft) : 0,1875 in</i>	<i>Course 1 (12 ft) : 0,1875 in</i>	<i>Course 1 (18 ft) : 0,25 in</i>
	<i>Course 2 (12 ft) : 0,25 in</i>	<i>Course 2 (12 ft) : 0,25 in</i>	<i>Course 2 (6 ft) : 0,1875 in</i>	<i>Course 2 (6 ft) : 0,1875 in</i>	<i>Course 2 (12 ft) : 0,25 in</i>
	<i>Course 3 (6 ft) : 0,1875 in</i>	<i>Course 3 (6 ft) : 0,1875 in</i>			<i>Course 3 (6 ft) : 0,1875 in</i>
<i>Head & Bottom</i>					
Jenis head	<i>Conical</i>	<i>Conical</i>	<i>Conical</i>	<i>Conical</i>	<i>Conical</i>
Tebal head, in	0,25	0,313	0,188	0,188	0,25
Jenis bottom	<i>flat</i>	<i>Flat</i>	<i>flat</i>	<i>flat</i>	<i>flat</i>
Tebal bottom, in	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Harga, Rp	8.967.190.478	2.637.293.364	371.342.679	445.611.214	11.801.828.850

b. *Accumulator*

Tabel 3. 7 Spesifikasi *Accumulator*

Spesifikasi	<i>Accumulator</i>
Kode	ACC – 01
Fungsi peruntukan alat	Menampung arus keluaran kondensor (CD – 01) yang berupa campuran
Lama penyimpanan	5 menit
Fasa	Cair
Jumlah tangki, unit	2 unit
Jenis tangki	<i>Horizontal silinder</i>
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	172,159
Tekanan, atm	1
Spesifikasi	
Bahan konstruksi	<i>Stainless steel SA-167 grade 11 type 316</i>
Volume tangki, m³	120,343
Diameter, m	0,882
Tinggi, m	5,501
Tebal <i>shell</i>, in	0,188
Head	
Jenis <i>head</i>	<i>Ellipsoidal</i>
Tebal <i>head</i>, in	0,188
Harga, Rp	966.876.554

3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair

Tabel 3. 8 Spesifikasi Pompa

Spesifikasi	Pompa				
	P – 01	P – 02	P – 03	P – 04	P – 05
Tujuan/Fungsi peruntukan alat	Mengalirkan bahan baku fenol (C ₆ H ₅ OH) dari tangki (T – 01) menuju <i>mixer</i> (M – 01)	Mengalirkan bahan baku formaldehid (CH ₂ O) dari tangki (T-02) menuju <i>mixer</i> (M – 01)	Mengalirkan bahan baku asam sulfat (H ₂ SO ₄) dari tangki (T – 03) menuju reactor (R – 01)	Mengalirkan bahan baku Natrium Hidroksida (NaOH) dari tangki (T – 04) menuju <i>neutralizer</i> (N – 01)	Mengalirkan hasil keluaran <i>mixer</i> (M – 01) menuju reaktor (R – 01)
Nama bahan yang dipompa	Fenol	Formaldehid	Asam sulfat	Natrium Hidroksida	Fenol, benzene, formaldehid, dan air
Viskositas, cP	5,413	0,570	18,991	1107,865	3,448
Kapasitas, m³/jam	2,795	2,195	0,000443	0,00106	5,932
Pump head, m	2,879	3,330	10,851	2,243	5,958
Suhu fluida, °C	30	30	30	30	30
Tekanan, atm	1	1	1	1	1
Instalasi	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>

<i>Submersibility</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>
Jenis pompa	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>
Motor power, Watt	186,425	186,425	37,285	37,285	559,275
Material construction	<i>Stainless steel SA-167 grade 11 type 316</i>				
Harga, Rp	8.912.224	8.912.224	1.965.196	1.965.196	118.829.657

Tabel 3. 9 Spesifikasi Pompa (lanjutan)

Spesifikasi	Pompa				
	P – 06	P – 07	P – 08	P – 09	P – 10
Tujuan/Fungsi peruntukan alat	Mengalirkan hasil keluaran dari reaktor (R – 01) menuju ke reaktor (R – 01)	Mengalirkan hasil keluaran dari reaktor (R – 02) menuju ke <i>neutralizer</i> (N – 01)	Mengalirkan hasil keluaran dari <i>neutralizer</i> (N – 01) menuju dekanter (D – 01)	Mengalirkan hasil keluaran dari dekanter (D – 01) menuju menara distilasi (MD – 01)	Mengalirkan hasil menara distilasi (MD – 01) menuju <i>reboiler</i> (RB – 01)
Nama bahan yang dipompa	Fenol, benzene, formaldehid, air, asam sulfat	Fenol, benzene, formaldehid, asam sulfat, air, novolak.	Fenol, benzene, formaldehid, novolak, air, natrium sulfat.	Fenol, benzene, novolak	Fenol, novolak
Viskositas, cP	0,697	1,439	1,747	0,358	0,403

Kapasitas, m³/jam	5,263	4,990	3,061	0,596	4,475
Pump head, m	3,518	2,981	3,650	1,703	8,343
Suhu fluida, °C	140	140	30	30	245
Tekanan, atm	1	1	1	1	1
Instalasi	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>
Submersibility	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>
Jenis pompa	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>
Motor power, Watt	372,850	372,850	372,850	745,700	745,700
Material construction	<i>Stainless steel SA-167 grade 11 type 316</i>				
Harga, Rp	10.397.595	10.397.595	9.803.447	5.941.483	10.991.743

Tabel 3. 10 Spesifikasi Pompa (lanjutan)

Spesifikasi	Pompa			
	P-11	P-12	P-13	P-14
Kode				
Tujuan/Fungsi peruntukan alat	Mengalirkan hasil kondenser (CD – 01) menuju <i>accumulator</i> (ACC – 01)	Mengalirkan hasil keluaran dari akumulator (ACC – 01) menuju UPL	Mengalirkan hasil <i>reboiler</i> (RB – 01) menuju tangki produk (T – 05)	Mengalirkan hasil dekanter (D – 01) menuju UPL

Nama bahan yang dipompa	Fenol, benzene, novolak	Fenol, benzene, novolak	Fenol, novolak	Fenol, benzene, formaldehid, air, novolak, natrium sulfat
Viskositas, cP	0,403	0,385	0,406	3,448
Kapasitas, m³/jam	4,475	0,068	3,315	5,932
Pump head, m	4,278	0,045	8,150	5,958
Suhu fluida, °C	172	199	245	30
Tekanan, atm	1	1	1	1
Instalasi	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>
Submersibility	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>
Jenis pompa	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>
Motor power, Watt	1118,550	745,700	745,700	559,275
Material construction	<i>Stainless steel SA-167 grade 11 type 316</i>			
Harga, Rp	10.991.743	3.930.392	8.912.224	10.397.595

3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. Cooler

Tabel 3. 11 Spesifikasi Cooler

Spesifikasi	<i>Cooler</i>			
Kode	CL – 01		CL – 02	
Fungsi	Mendinginkan fluida keluaran reaktor (R – 01) menuju <i>neutralizer</i> (N – 01)		Mendinginkan fluida keluaran <i>reboiler</i> (RB – 01) menuju tangki (T – 05)	
Jenis	<i>Double pipe</i>		<i>Double pipe</i>	
Media Pendingin	Air pendingin		Air pendingin	
Kondisi Operasi				
	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>
Suhu Masuk, °C	25	140	30	245,380
Suhu Keluar, °C	40	30	40	35
Tekanan, atm	1	1	1	1
Beban Pendingin, btu/jam	959.714,107		660.320,140	
A, Luas tranfer panas, ft ²	152,847		68,020	
Mechanical Design				
	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>
<i>Length</i> , ft	12		12	
<i>Hairpin</i> , buah	17		7	
ID, in	2,469	1,38	2,469	1,38
OD, in	2,88	1,66	2,88	1,66
<i>Pressure drop</i> , psi	1,021	0,197	1,083	0,058
Rd	0,0198		0,0091	
Harga, Rp	113.981.382		607.245.641	

b. Heater

Tabel 3. 12 Spesifikasi *Heater*

Spesifikasi	Heater					
Kode	HE – 01		HE – 02		HE – 03	
Fungsi	Memanaskan fluida keluaran <i>mixer</i> (M – 01) menuju reaktor (R – 01)		Memanaskan fluida dari tangki (T – 03) menuju reaktor (R – 01)		Memanaskan fluida keluaran dekanter (D – 01) menuju menara distilasi (MD – 01)	
Jenis	<i>Double pipe</i>		<i>Double pipe</i>		<i>Double pipe</i>	
Media Pemanas	<i>Steam</i>		<i>Steam</i>		<i>steam</i>	
Kondisi Operasi						
	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>
Suhu masuk, °C	30	250	30	250	30	250
Suhu keluar, °C	140	250	140	250	220,526	250
Tekanan, atm	1	1	1	1	1	1
Beban panas, btu/jam	1.120.965,470		84,564		753.989,146	
A, Luas transfer panas, ft²	78,484		0,012		80,352	
Mechanical Design						
	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>	<i>Annulus</i>	<i>Tube</i>
Length, ft	12		12		12	

<i>Hairpin, buah</i>	9		1		5	
ID, in	2,469	1,38	2,469	1,38	2,469	1,38
OD, in	2,88	1,66	2,88	1,66	2,88	1,66
<i>Pressure drop, psi</i>	0,199	0,055	0,000000973	0,0000000507	0,069	0,026
Rd	0,0196		30,150		0,009	
Harga, Rp	90.399.027		90.399.027		90.399.027	

c. Kondensor

Tabel 3. 13 Spesifikasi Kondensor

Spesifikasi	Kondensor	
Kode	CD – 01	
Fungsi	Mengembunkan keluaran uap dari menara distilasi (MD – 01)	
Jenis	<i>Shell and Tube</i>	
Media Pendingin	Air pendingin	
Kondisi Operasi		
Tekanan, atm	1	
Beban Pendingin, btu/jam	595.015,319	
A, Luas transfer panas, ft ²	226,673	
Mechanical Design		
<i>Shell</i>		
ID, in	29	
<i>Passes</i>	2	
<i>Pitch</i>	<i>Triangular Pitch</i>	
<i>Baffle Spacing</i>	0,75	
<i>Tube</i>		
ID, in	1,04	
OD, in	1,25	
BWG	18	
Panjang tube, ft	18	
<i>Passes</i>	2	
<i>Pressure drop, psi</i>	<i>Shell</i>	<i>Tube</i>
	0,0002	0,0159
Rd	0,024	
Harga, Rp	51.095.102	

d. Reboiler

Tabel 3. 14 Spesifikasi Reboiler

Spesifikasi	Reboiler	
Kode	RB – 01	
Fungsi	Menguapkan cairan yang keluar dari menara distilasi (MD – 01) sebagai hasil bawah	
Jenis	<i>Kettle Reboiler</i>	
Media Pemanas	<i>steam</i>	

Kondisi Operasi		
Tekanan, atm	1	
Beban Panas, btu/jam	595.051,319	
A, Luas transfer panas, ft²	689,751	
<i>Mechanical Design</i>		
<i>Shell</i>		
ID, in	29	
<i>Passes</i>	2	
<i>Pitch</i>	<i>Triangular Pitch</i>	
<i>Baffle Spacing</i>	0,75	
<i>Tube</i>		
ID, in	0,652	
OD, in	0,750	
BWG	18	
Panjang tube, ft	18	
<i>Passes</i>	2	
	<i>Shell</i>	<i>Tube</i>
<i>Pressure drop, psi</i>	0,00002	0,365
Rd	0,059	
Harga, Rp	271.197.082	

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Total

Tabel 3. 15 Neraca Massa Total

Komponen	Masuk (Kg/Jam)	Keluar (Kg/Jam)	
		Produk	UPL
C ₆ H ₅ OH	2.041,674	6,901	434,100
C ₆ H ₆	20,623		20,623
CH ₂ O	521,278		10,426
H ₂ O	888,044		1.194,744
(C ₇ H ₆ O) _n		1.760,775	44,238
H ₂ SO ₄	0,511		
NaOH	0,417		
Na ₂ SO ₄			0,740
Subtotal	3.472,547	1.767,677	1.704,870
Total	3.472,547	3.472,547	

3.4.2 Neraca Massa Alat

- a. Neraca Massa di *Mixer* (M – 01)

Tabel 3. 16 Neraca Massa *Mixer* (M – 01)

No.	Komponen	Masuk (Kg/Jam)		Keluar (Kg/Jam)
		Arus 1	Arus 2	Arus 3
1.	C ₆ H ₅ OH	2.041,674		2.041,674
2.	C ₆ H ₆	20,623		20,623
3.	CH ₂ O		521,278	521,278
4.	H ₂ O		887,582	887,582
Subtotal		2.062,296	1.408,860	3.471,157
Total		3.471,157		3.471,157

b. Neraca Massa di Reaktor (R – 01)

Tabel 3. 17 Neraca Massa Reaktor (R – 01)

No.	Komponen	Masuk (Kg/Jam)		Keluar (Kg/Jam)
		Arus 3	Arus 4	Arus 5
1.	C ₆ H ₅ OH	2.041,674		653,336
2.	C ₆ H ₆	20,623		20,623
3.	CH ₂ O	521,278		78,192
4.	H ₂ O	887,582	0,010	1153,444
5.	(C ₇ H ₆ O) _n			1565,573
6.	H ₂ SO ₄		0,511	0,511
Subtotal		3.471,157	0,521	3.471,678
Total		3.471,678		3.471,678

c. Neraca Massa di Reaktor (R – 02)

Tabel 3. 18 Neraca Massa Reaktor (R – 02)

No.	Komponen	Masuk (Kg/Jam)		Keluar (Kg/Jam)
		Arus 5		Arus 6
1.	C ₆ H ₅ OH	653,336		441,001
2.	C ₆ H ₆	20,623		20,623
3.	CH ₂ O	78,192		10,426
4.	H ₂ O	1153,444		1.194,104
5.	(C ₇ H ₆ O) _n	1565,573		1.805,013
6.	H ₂ SO ₄	0,511		0,511
Total		3.471,678		3.471,678

d. Neraca Massa di *Neutralizer* (N – 01)

Tabel 3. 19 Neraca Massa *Neutralizer* (N – 01)

No.	Komponen	Masuk (Kg/Jam)		Keluar (Kg/Jam)
		Arus 6	Arus 7	Arus 8
1.	C ₆ H ₅ OH	441,001		441,001
2.	C ₆ H ₆	20,623		20,623
3.	CH ₂ O	10,426		10,426
4.	H ₂ O	1.194,104	0,452	1.149,744
5.	(C ₇ H ₆ O) _n	1.805,013		1.805,013
6.	H ₂ SO ₄	0,511		

7.	NaOH		0,417	
8.	Na ₂ SO ₄			0,740
Subtotal		3.471,678	0,869	3.472,547
Total		3.472,547		3.472,547

e. Neraca Massa di Dekanter (D – 01)

Tabel 3. 20 Neraca Massa Dekanter (D – 01)

No.	Komponen	Masuk (Kg/Jam)	Keluar (Kg/Jam)	
		Arus 8	Arus 9 (Masuk UPL)	Arus 10
1.	C ₆ H ₅ OH	441,001	95,938	345,064
2.	C ₆ H ₆	20,623	2,700	17,923
3.	CH ₂ O	10,426	10,426	
4.	H ₂ O	1.149,744	1.149,744	
5.	(C ₇ H ₆ O)n	1.805,013	8,303	1796,710
6.	Na ₂ SO ₄	0,740	0,740	
Subtotal		3.472,547	1.312,851	2.159,696
Total		3.472,547	3.472,547	

f. Neraca Massa di Menara Distilasi (MD – 01)

Tabel 3. 21 Neraca Massa Menara Distilasi (MD – 01)

No.	Komponen	Masuk (Kg/Jam)	Keluar (Kg/Jam)	
		Arus 10	Arus 11 (Masuk Tangki Produk)	Arus 12 (Masuk UPL)
1.	C ₆ H ₆	17,923		17,923
2.	C ₆ H ₅ OH	345,064	6,901	338,162
3.	(C ₇ H ₆ O)n	1.796,710	1760,775	35,934
Subtotal		2.159,696	1767,677	392,019
Total		2.159,696	2.159,696	

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Reaktor (R – 01)

Tabel 3. 22 Neraca Panas Reaktor (R – 01)

Komponen	Masuk (KJ/Jam)	Keluar (KJ/Jam)
Q Masuk	1.233.230,186	
Q Keluar		1.089.908,698
Q Reaksi	687.121,667	
Q Pendingin		801.699,264
Total	1.920.351,854	1.920.351,854

3.5.2 Reaktor (R – 02)

Komponen	Masuk (KJ/Jam)	Keluar (KJ/Jam)
Q Masuk	1.089.908,698	
Q Keluar		1.067.988,940
Q Reaksi	105.089,196	
Q Pendingin		127.008,953
Total	1.194.997,894	1.194.997,894

3.5.3 *Neutralizer* (N – 01)

Tabel 3. 23 Neraca Panas *Neutralizer* (N – 01)

Komponen	Masuk (KJ/Jam)	Keluar (KJ/Jam)
Q Masuk	45.389,678	
Q Keluar		45.391,352
Q Reaksi	1.042,259	
Q Pendingin		1.040,584
Total	46.431,937	46.431,937

3.5.4 Menara Distilasi (MD – 01)

Tabel 3. 24 Neraca Panas Menara Distilasi (MD – 01)

Komponen	Masuk (KJ/Jam)	Keluar (KJ/Jam)
Q Masuk	815.108,437	
Q Distilat		157.339,452
Q <i>Bottom</i>		726.618,279
Q Kondenser	49.000,888	

<i>Q Reboiler</i>	19.848,405	
Total	883.957,730	883.957,730

3.5.5 *Heater 1 (HE – 01)*

Tabel 3. 25 Neraca Panas *Heater 1 (HE – 01)*

Komponen	Masuk (KJ/Jam)	Keluar (KJ/Jam)
Q Masuk	50.455,763	
Q Keluar		1.233.137,094
Q Pemanas	1.182.681,330	
Total	1.233.137,094	1.233.137,094

3.5.6 *Heater 2 (HE – 02)*

Tabel 3. 26 Neraca Panas *Heater 2 (HE – 02)*

Komponen	Masuk (KJ/Jam)	Keluar (KJ/Jam)
Q Masuk	3,873	
Q Keluar		93,093
Q Pemanas	89,220	
Total	93,093	93,093

3.5.7 *Heater 3 (HE – 03)*

Tabel 3. 27 Neraca Panas *Heater 3 (HE – 03)*

Komponen	Masuk (KJ/Jam)	Keluar (KJ/Jam)
Q Masuk	19.041,543	
Q Keluar		814.542,305
Q Pemanas	795.500,762	
Total	814.542,305	814.542,305

3.5.8 *Cooler 1 (CL – 01)*

Tabel 3. 28 Neraca Panas *Cooler 1 (CL – 01)*

Komponen	Masuk (KJ/Jam)	Keluar (KJ/Jam)
Q Masuk	1.057.481,356	
Q Keluar		44.929,242

Q Pendingin		1.012.552,114
Total	1.057.481,356	1.057.481,356

3.5.9 Cooler 2 (CL – 02)

Tabel 3. 29 Neraca Panas Cooler 2 (CL – 02)

Komponen	Masuk (KJ/Jam)	Keluar (KJ/Jam)
Q Masuk	726.449,220	
Q Keluar		29.774,503
Q Pendingin		696.674,717
Total	726.449,220	726.449,220

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi merupakan hal yang penting dalam perancangan suatu pabrik, karena berhubungan langsung dengan nilai ekonomis dari pabrik yang akan didirikan. Pabrik novolak resin dari fenol dan formaldehid dengan kapasitas 14.000 ton/tahun direncanakan akan didirikan di Desa Terate, Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang, Banten.



Gambar 4. 1 Lokasi Pendirian Pabrik

Adapun pertimbangan - pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik yang dirancang secara teknis dan menguntungkan secara ekonomis. Faktor-faktor tersebut antara lain :

4.1.1. Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor primer adalah faktor yang memengaruhi produksi dan distribusi dari pabrik. Faktor ini berpengaruh terhadap kelancaran dan kelangsungan pabrik.

Faktor primer meliputi :

a. Penyediaan Bahan Baku

Lokasi pabrik didirikan sebaiknya berada didekat dengan pabrik penyuplai bahan baku. Hal ini dikarenakan supaya dalam pengiriman bahan baku berjalan lancar dengan waktu yang efisien serta biaya yang minimum. Bahan baku dikirim melalui jalur darat.

Bahan baku utama yaitu fenol yang direncanakan diperoleh dari PT. Kumenindo Kridanusa, Balongan, Jawa Barat. Formaldehid dari PT. Dover Chemical, Cilegon, Banten. Asam sulfat dari PT. Indo Sukses Sentra Usaha, Serang, Banten. Natrium Hidroksida dari PT. Pindo Deli Pulp and Paper Mills, Karawang, Jawa Barat.

b. Pemasaran Produk

Produk novolak resin banyak dibutuhkan oleh industri kayu. Lokasi pabrik di Serang, Banten cukup strategis karena banyak di sekitar daerah Serang terdapat banyak sekali industri-industri kayu dan dekat dengan Pelabuhan, seperti Pelabuhan Merak. Sehingga mempermudah pemasaran dalam negeri, dan juga luar negeri. Dalam pemasarannya, pengemasan produk dikemas dalam drum, menggunakan truk. Untuk pengiriman luar pulau dan ekspor, dapat menggunakan kapal.

c. Utilitas

Utilitas sebagai unit pendukung mempunyai peranan penting dalam kelangsungan pabrik. Unit utilitas meliputi kebutuhan air dan listrik. Air merupakan kebutuhan yang penting dalam industri kimia. Air banyak digunakan sebagai media pendingin, sanitasi, *steam*, serta kebutuhan lain. Kebutuhan air dapat dipenuhi dengan baik dan ekonomis karena kawasan pabrik dekat dengan sumber aliran air, yaitu Kali Berung.

Kebutuhan listrik dapat disuplai dari PT. PLN (Persero) setempat, serta untuk menjamin operasional pabrik, maka pabrik memiliki generator dan boiler dengan bahan bakar solar. Untuk bahan bakar sendiri yang berupa solar ini dapat diperoleh dari PT. Pertamina.

d. Tenaga Kerja

Tenaga kerja berpendidikan menengah atau kejuruan dapat diperoleh dari daerah sekitar pabrik dan tenaga ahli dapat diperoleh dari berbagai perguruan tinggi dari daerah sekitar maupun luar daerah. Sebagai kawasan industri, daerah ini merupakan salah satu tujuan para tenaga kerja untuk mencari pekerjaan. Berdirinya pabrik novolak resin ini diharapkan dapat memberikan peluang kerja bagi para tenaga kerja tersebut.

e. Transportasi

Lokasi pabrik terletak dekat dengan jalan raya dan Pelabuhan sehingga dapat mempermudah pembelian bahan baku dan pemasaran produk, baik melalui jalur darat maupun laut

. Jalur darat dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan pemasaran dalam negeri, sedangkan jalur laut digunakan untuk memenuhi kebutuhan pemasaran dalam dan luar negeri.

4.1.2. Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor sekunder tidak secara langsung berperan dalam proses industri, akan tetapi sangat berpengaruh dalam kelancaran proses produksi dari pabrik itu sendiri. Faktor-faktor sekunder meliputi:

a. Perluasan Areal Unit

Pada pendirian suatu pabrik hendaknya mempertimbangkan rencana perluasan pabrik untuk beberapa tahun kedepannya. Saat pemilihan lokasi pendirian pabrik harus daerah yang mempunyai cukup lahan. Hal ini digunakan agar suatu saat nanti saat akan dilakukan perluasan area maka tidak ada kesulitan dalam mencari lahan perluasan.

b. Perizinan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk Kawasan industri, sehingga akan memperoleh kemudahan untuk mengurus perizinan pendirian pabrik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengaturan tata letak pabrik diantaranya:

- Keamanan kerja terpenuhi.
- Pengoperasian, pengontrolan, pemindahan maupun perbaikan semua peralatan proses dapat dilakukan dengan mudah dan aman.

- Pemanfaatan area tanah seefisien mungkin.
- Transportasi yang baik dan efisien.

c. Prasarana dan Fasilitas Sosial

Lingkungan prasarana dan fasilitas sosial yang dimaksud seperti jalan dan transportasi lainnya harus tersedia, penyediaan bengkel industri, dan fasilitas umum lainnya seperti rumah sakit, sekolah, bank dan sarana ibadah.

d. Lingkungan Masyarakat Sekitar

Sikap masyarakat sekitar cukup terbuka karena sudah terbiasa dengan adanya industri, karena dengan pendirian pabrik baru akan tersedianya lapangan pekerjaan bagi mereka, sehingga terjadi peningkatan kesejahteraan masyarakat setelah pabrik-pabrik didirikan.

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik atau *plant layout* merupakan suatu kedudukan dari suatu bagian-bagian pabrik yang meliputi tempat perkantoran, lalu lintas karyawan, tempat peralatan, tempat penyimpanan bahan baku, tempat alat proses, dan produk yang saling berhubungan. Tata letak pabrik ini dirancang sedemikian rupa. Sehingga pengguna area pabrik lebih efisien dan proses produksi dipabrik dapat berjalan lancar tanpa ada masalah keamanan, keselamatan, dan kenyamanan bagi karyawan dapat terpenuhi. Selain peralatan proses dan utilitas, terdapat beberapa bangunan lainnya yakni, kantor, bengkel, laboratorium, kantin, poliklinik, pemadam kebakaran, pos keamanan, mesh, dan sebagainya ditempatkan pada

bagian yang tidak akan mengganggu lalu lintas, barang dan proses. Perancangan tata letak yang baik memiliki keuntungan yang baik yakni (Peters et al., 2003):

1. Mengurangi biaya produksi.
2. Meningkatkan pengawasan operasi dan proses.
3. Meningkatkan keselamatan kerja.
4. Mengurangi jarak transportasi produksi dan bahan baku, sehingga dapat mengurangi *material handling*.
5. Dapat memberikan ruang bergerak untuk mempermudah dalam perbaikan peralatan dan mesin ketika terjadi kerusakan.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan tata letak pabrik adalah :

a. Daerah Proses

Daerah proses merupakan daerah yang digunakan untuk menempatkan alat-alat yang berhubungan dengan proses produksi. Dimana daerah proses ini diletakkan pada daerah yang terpisah dari bagian lain.

b. Keamanan

Keamanan merupakan kemungkinan adanya bahaya ledakan kebakaran, asap atau gas beracun harus benar-benar diperhatikan dalam menentukan tata letak pabrik. Sehingga harus dilakukan penempatan alat-alat pengaman seperti hidran, penampungan air yang cukup dan penahan ledakan. Tangki penyimpanan bahan baku dan perlu adanya jarak antara bangunan satu dengan lainnya yang berguna memberikan pertolongan dan penyediaan jalan bagi karyawan untuk menyelamatkan diri.

c. Bangunan

Bangunan diharuskan memenuhi standar dan perlengkapan yang mumpuni seperti ventilasi, instalasi, dan lain-lainnya tersedia dan memenuhi syarat.

d. Luas Area yang Tersedia

Faktor yang membatasi kemampuan penyedia area yakni harga tanah. Pemakaian tempat disesuaikan dengan area yang tersedia. Jika harga tanah terlalu tinggi, maka diperlukan efisiensi dalam pemakaian ruangan hingga peralatan tertentu efisiensi dalam pemakaian ruangan hingga peralatan tertentu diletakkan di atas peralatan yang lain, ataupun lantai ruangan diatur sedemikian rupa agar menghemat tempat

e. Instalasi dan Utilitas

Pemasangan dan distribusi yang baik dari gas, udara, *steam*, dan listrik akan memudahkan kerja dan perawatan. Penempatan peralatan proses ditata dengan baik sehingga petugas dapat dengan mudah menjangkaunya dan dapat membuat kelancaran operasi serta memudahkan perawatannya.

Secara garis besar, tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa bagian utama sebagai berikut :

a. Perkantoran/Administrasi

Daerah perkantoran merupakan pusat kegiatan administrasi dan keuangan pabrik, serta untuk urusan dengan pihak luar maupun pihak dalam pabrik itu sendiri. Daerah ini biasanya berada di bagian depan area pabrik.

b. Produksi

Daerah produksi merupakan tempat berlangsungnya kegiatan operasional produksi. Daerah ini meliputi tempat penyimpanan bahan baku dan produk, penempatan alat-alat proses dan ruangan pengendalian (*control room*). Daerah ini berada di tempat yang terpisah dengan daerah lainnya untuk tujuan keamanan.

c. Instalasi dan Utilitas

Daerah instalasi dan utilitas merupakan tempat yang menyediakan kebutuhan-kebutuhan penunjang proses, seperti kebutuhan air, steam pemanas, air pendingin, listrik dan bahan bakar.

d. Fasilitas Umum

Daerah ini merupakan pusat fasilitas umum yang dapat digunakan oleh karyawan meliputi perumahan/*mess*, poliklinik, tempat ibadah, kantin, taman dan sebagainya.

e. Keamanan

Daerah keamanan merupakan tempat untuk menyimpan alat-alat keamanan dalam rangka mengantisipasi dan meminimalisir dampak yang ditimbulkan apabila terjadi ledakan, asap, kebakaran kebocoran gas beracun

dan hal lainnya. Oleh karena itu, perlu disediakan alat pemadam kebakaran di beberapa titik yang berbahaya dan dapat memicu kebakaran.

f. Pengolahan Limbah

Pendirian suatu pabrik juga harus memperhatikan aspek kelestarian lingkungan. Untuk itu perlu adanya daerah khusus yang digunakan sebagai tempat pengolahan limbah agar tidak merusak lingkungan sekitar. Limbah produksi akan mengalami pengolahan dan pengujian lebih lanjut untuk memastikan batas komponen berbahaya yang terkandung sehingga aman jika dibuang ke lingkungan.

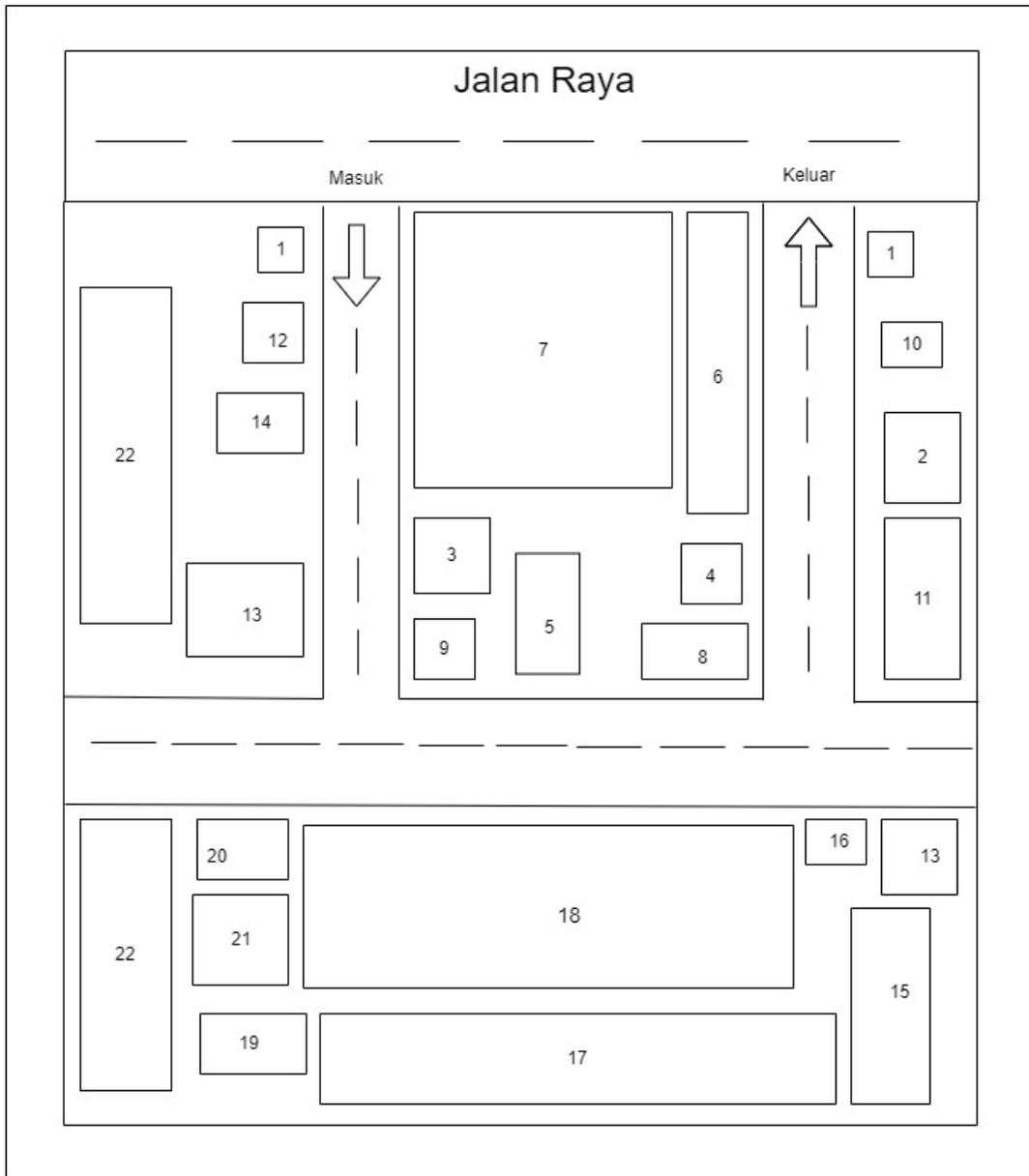
g. Perluasan

Dalam rangka mengantisipasi kemungkinan adanya peningkatan kapasitas produksi yang disebabkan oleh permintaan produk yang meningkat, perlu dipertimbangkan untuk menyediakan lahan kosong sebagai daerah perluasan pabrik apabila dibutuhkan di masa mendatang. Pembangunan pabrik novolak resin akan menggunakan area seluas 7.303 m². Adapun rinciannya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Rincian Luas Tanah Bangunan Pabrik

No.	Nama Bangunan	Keterangan		Luas (m ²)
		Panjang (m)	Lebar (m)	
1.	Pos keamanan	6	7	42
2.	Taman	15	8	120
3.	Masjid	10	10	100
4.	Perpustakaan	8	9	72
5.	Kantin	6	10	60
6.	Tempat parkir	15	35	525
7.	Kantor	40	40	1.600

8.	K3 dan <i>fire hydrant</i>	10	7	70
9.	Laboratorium	8	8	64
10.	Poliklinik	5	7	35
11.	<i>Mess</i>	20	10	200
12.	Ruang timbang truk	8	8	64
13.	Parkir truk			400
14.	Bengkel			96
15.	Tangki bahan baku	12	8	600
16.	Ruang control	40	15	80
17.	Daerah utilitas	10	8	1.275
18.	Daerah proses	75	17	2.800
19.	UPL	35	80	150
20.	Gudang	15	10	150
21.	Tangki produk	15	15	225
22.	Perluasan			2.250
23.	Jalan			3.000
Luas Tanah				13.978
Luas Bangunan				7.303



(Skala 1:1000)

Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Keterangan :

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1. Pos Keamanan | 3. Masjid |
| 2. Taman | 4. Perpustakaan |

5. Kantin
6. Tempat Parkir
7. Kantor
8. K3 dan *Fire Hydrant*
9. Laboratorium
10. Poliklinik
11. *Mess*
12. Ruang Timbang Truk
13. Parkir Truk
14. Bengkel
15. Tangki Bahan Baku
16. Ruang Kontrol
17. Daerah Utilitas
18. Daerah Proses
19. UPL
20. Gudang
21. Tangki Produk
22. Perluasan
23. Jalan

4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses (*Machines Layout*)

Perancangan tata letak mesin/alat proses pada pabrik memerlukan beberapa pertimbangan agar proses produksi dapat berjalan secara efisien, adapun pertimbangan tersebut antara lain:

a. Aliran Bahan Baku dan Produk

Aliran bahan baku dan produk yang tepat akan menunjang kelancaran proses produksi dan kemandirian produksi, serta memberikan keuntungan besar dalam bidang ekonomi karena dapat mengurangi penggunaan alat angkut sehingga mengurangi biaya modal yang tidak penting.

b. Aliran Udara

Aliran udara pada area sekitar proses perlu dipertimbangkan guna menghindari terjadinya stagnasi udara yang dapat menyebabkan akumulasi/penumpukan bahan kimia pada lokasi tertentu sehingga membahayakan keselamatan pekerja.

c. Operasi

Pengoperasian setiap alat harus selalu dikontrol dengan memanfaatkan ruang kontrol sebagai pusat pengendalian proses produksi, dengan demikian area produksi harus berdekatan dengan ruang kontrol (*control room*) guna mempermudah pengendalian proses produksi.

d. Pencahayaan

Pencahayaan yang cukup di area produksi harus dipertimbangkan untuk meminimalisir adanya kecelakaan kerja, area yang dimaksud meliputi setiap unit alat maupun jalan antar unit alat proses. Pada peralatan yang memiliki potensi bahaya yang tinggi harus dilengkapi dengan adanya penerangan tambahan.

e. Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Perancangan tata letak alat proses harus mempertimbangkan lalulintas pekerja dan kendaraan agar mobilitas di area proses produksi dapat berjalan lancar dan efisien.

f. Keamanan

Perancangan tata letak alat proses harus mempertimbangkan resiko bahaya yang mungkin terjadi dalam proses produksi seperti adanya kebakaran pada pabrik, sehingga peletakan alat proses harus mudah dijangkau oleh unit pemadam kebakaran agar tidak menimbulkan korban jiwa jika terjadi kecelakaan.

g. Perawatan

Tata letak alat proses harus mempertimbangkan ruang untuk perawatan, perawatan dapat menjaga efisiensi peralatan dan memperpanjang masa pakai alat, serta menjaga keamanan dan keselamatan kerja. Contoh pengadaan ruang perawatan pada alat *heat exchanger* untuk membersihkan bagian *tube*.

h. Perluasan dan Pengembangan Pabrik

Perluasan dan pengembangan pabrik menjadi pertimbangan dalam tata letak alat proses guna mempermudah adanya penambahan kapasitas produksi jika diperlukan dikemudian hari, sehingga diperlukan penempatan alat yang tepat agar memungkinkan adanya perluasan pabrik.

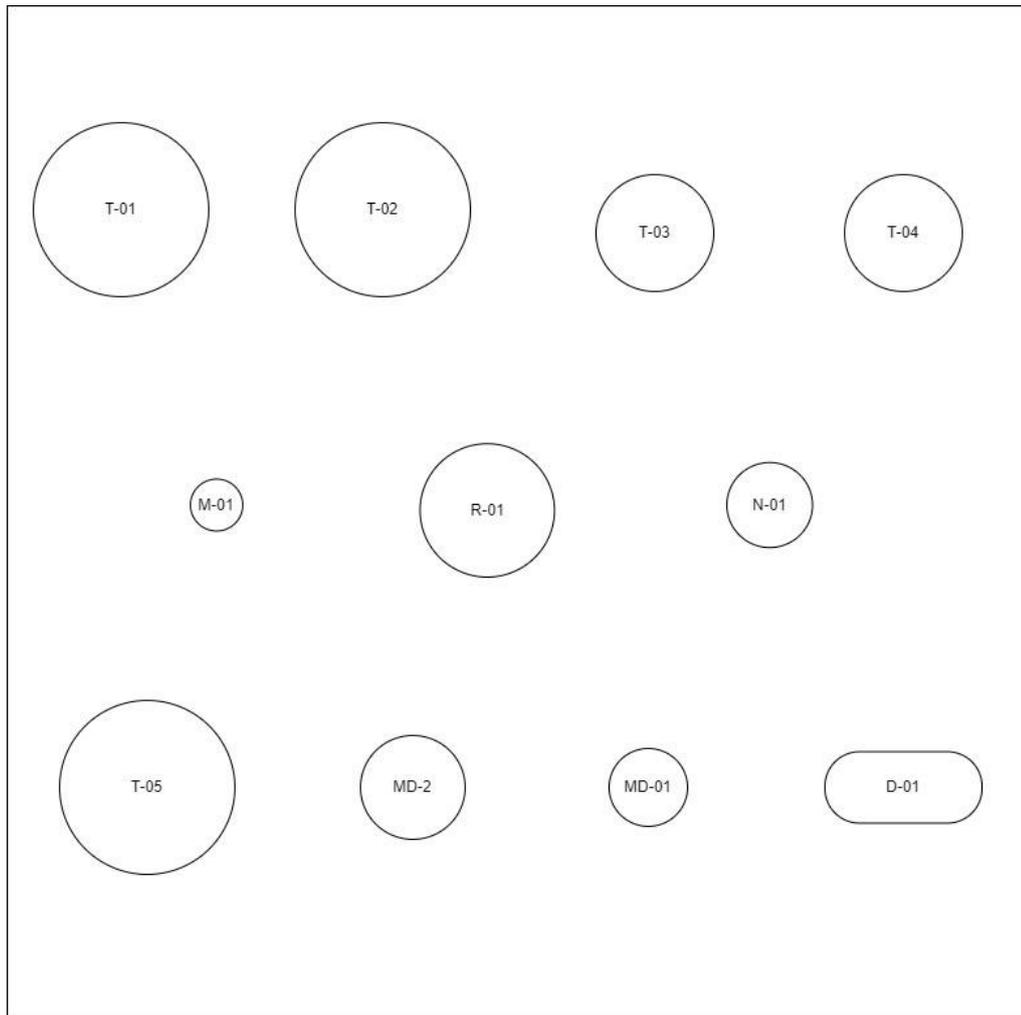
i. Pertimbangan Ekonomi

Penempatan alat-alat proses harus diatur sedemikian rupa guna meminimalisir penggunaan pipa secara berlebihan atau alat transport pada proses produksi serta meminimalkan biaya konstruksi sehingga mengurangi biaya yang tidak penting.

j. Jarak Antar Alat Proses

Jarak antar alat proses perlu dipertimbangkan demi kelancaran proses produksi, alat proses yang memiliki kondisi operasi yang ekstrim (suhu dan tekanan tinggi) harus diberi jarak yang cukup dari alat proses lainnya agar tidak mempengaruhi proses pada peralatan lain dan membahayakan keselamatan pekerja jika terjadi ledakan atau kebakaran.

Tata letak alat-alat proses (*Machines Layout*) dapat dilihat pada gambar 4.3



(Skala 1:1000)

Gambar 4. 3 Tata Letak Alat-Alat Proses (*Machines Layout*)

Keterangan Alat :

- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1. T – 01 : Tangki 01 | 7. R – 01 : Reaktor 1 |
| 2. T – 02 : Tangki 02 | 8. N – 01 : <i>Neutralizer</i> |
| 3. T – 03 : Tangki 03 | 9. D – 01 : Dekanter |
| 4. T – 04 : Tangki 04 | 10. MD – 01 : Menara distilasi 01 |
| 5. T – 05 : Tangki 05 | 11. MD – 02 : Menara distilasi 02 |
| 6. M – 01 : <i>Mixer</i> 1 | |

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Pabrik Novolak Resin merupakan perusahaan swasta berskala nasional dengan bentuk Perseroan Terbatas (PT). Menurut pasal 1 angka 1 UU No. 40 Tahun 2007, Perseroan Terbatas (PT) adalah: Badan hukum yang merupakan persekutuan modal, didirikan berdasarkan perjanjian, melakukan kegiatan usaha dengan modal dasar yang seluruhnya terbagi dalam saham, dan memenuhi persyaratan yang diterapkan dalam undang-undang ini. Perseroan Terbatas (PT) dipilih dengan mempertimbangkan beberapa faktor, diantaranya adalah (Niru Anita,2018):

- a. Modal mudah didapatkan yaitu dengan menjual saham perusahaan kepada masyarakat atau institusi.
- b. Modal badan usaha memiliki kekayaan terpisah dengan para perseronya.
- c. Pemegang perusahaan memiliki tanggung jawab yang sifatnya terbatas sehingga kelancaran produksi hanya dipegang oleh pimpinan perusahaan.
- d. Terdapat pemisahan fungsi diantara pengurus dalam hal ini direksi dengan pemegang saham.
- e. Adanya komisaris yang berfungsi sebagai pengawas.
- f. Kekuasaan tertinggi terdapat berada pada Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS).

4.4.2 Struktur Organisasi

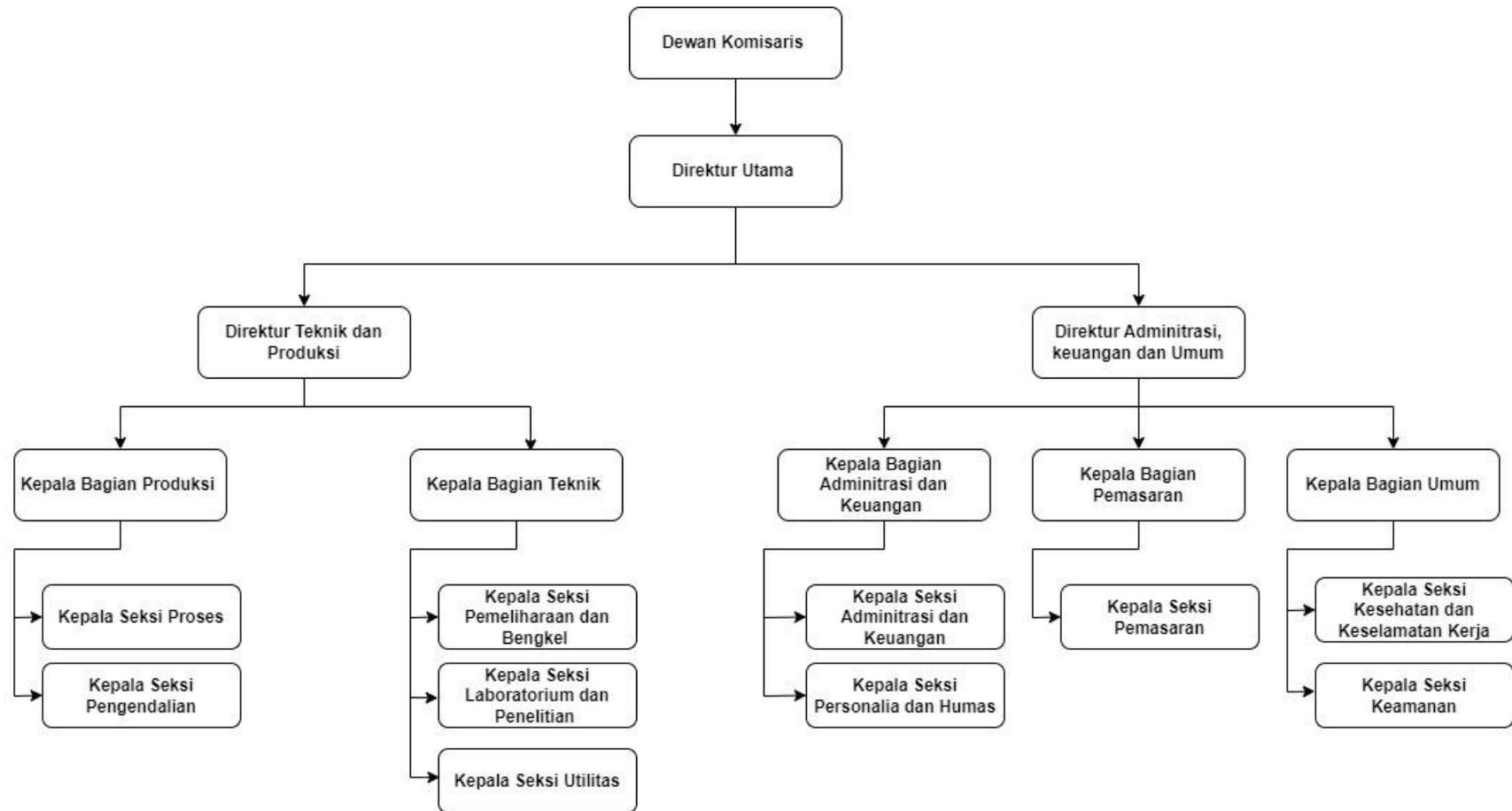
Struktur organisasi adalah sebuah gambaran pembagian dan hubungan wewenang serta tanggung jawab suatu organisasi dalam melaksanakan aktivitasnya (Nurlia, 2019). Oleh sebab itu, struktur organisasi adalah salah satu unsur yang sangat penting dalam suatu badan usaha agar segala aktivitas dalam perusahaan tersebut dalam berjalan secara efektif dan juga efisien.

Struktur organisasi yang digunakan dalam pabrik novolak resin adalah organisasi *line and staff*. Bentuk organisasi lini dan staf pada dasarnya merupakan kombinasi dari organisasi lini dan organisasi fungsional. Asas kesatuan komando tetap dipertahankan dan pelimpahan wewenang berlangsung secara vertikal dari pucuk pimpinan kepada pimpinan dibawahnya. Pucuk pimpinan tetap sepenuhnya berhak menetapkan keputusan, kebijaksanaan, dan merealisasikan tujuan perusahaan. Dalam membantu kelancaran tugas pimpinan, ia mendapat bantuan dari para staf. Tugas para staf hanya memberikan bantuan, pemikiran saran-saran, data, informasi, dan pelayanan kepada pimpinan sebagai bahan pertimbangan untuk menetapkan keputusan dan kebijaksanaannya.

Struktur organisasi *line and staff* ini dipilih dengan beberapa pertimbangan diantara:

- a. Asas kesatuan pimpinan tetap dipertahankan, sebab pimpinan tetap berada dalam satu tangan saja.

- b. Adanya pengelompokan wewenang, yaitu wewenang lini dan wewenang staff.
- c. Adanya pembagian tugas dan tanggung jawab yang jelas antara pimpinan, staff dan pelaksana.
- d. Pimpinan mempunyai bawahan tertentu, sedang bawahan hanya mempunyai seorang atasan tertentu saja.
- e. Bawahan hanya mendapat perintah dan memberikan tanggung jawab kepada seorang atasan tertentu saja.



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi Perusahaan

4.4.3 Tugas dan Wewenang

Agar seluruh kegiatan yang dilaksanakan dalam badan usaha dapat berjalan secara efektif dan efisien maka diperlukan pengelompokan tugas dan wewenang.

a. Pemegang Saham

Pemegang saham (pemilik perusahaan) adalah beberapa orang yang mengumpulkan modal untuk kepentingan pendirian dan berjalannya operasi perusahaan tersebut. Kekuasaan tertinggi pada perusahaan yang mempunyai bentuk perseroan terbatas adalah Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Pada RUPS tersebut para pemegang saham berwenang:

- Mengangkat dan memberhentikan Dewan Komirsaris.
- Mengangkat dan memberhentikan Direktur.
- Mengesahkan hasil-hasil usaha serta neraca perhitungan untung rugi tahunan dari perusahaan.

b. Dewan Komisaris

Dewan komisaris merupakan pelaksana dari para pemilik saham, sehingga dewan komisaris akan bertanggung jawab terhadap pemilik saham. Tugas-tugas Dewan Komisaris meliputi:

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

c. Dewan Direksi

Direktur Utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan dan bertanggung jawab sepenuhnya terhadap keberhasilan perusahaan. Direktur Utama bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris atas segala tindakan dan kebijakan yang diambil sebagai pimpinan perusahaan. Direktur Utama membawahi Direktur Teknik dan Produksi serta Direktur Administrasi, Keuangan dan Umum. Tugas-tugas Dewan Direksi meliputi:

- Direktur Teknik dan Produksi memiliki tugas memimpin pelaksanaan kegiatan pabrik yang berhubungan dengan bidang produksi dan operasi, teknik, pengembangan, pemeliharaan peralatan, pengadaan, dan laboratorium.
- Direktur Administrasi, Keuangan dan Umum, memiliki tugas bertanggung jawab terhadap masalah-masalah yang berhubungan dengan administrasi, keuangan dan umum, pembelian dan pemasaran, penelitian dan pengembangan.

d. Kepala Bagian Produksi

Kepala Bagian Produksi membawahi:

- Seksi Proses. Pada seksi ini bertugas untuk mengawasi jalannya proses produksi dan pada peralatan produksi yang mengalami kerusakan.

- Seksi Pengendalian. Pada seksi ini bertugas untuk menangani hal-hal yang dapat mengancam keselamatan pekerja dan mengurangi protensi bahaya yang ada.

e. Kepala Bagian Teknik

Kepala Bagian Teknik membawahi:

- Kepala seksi pemeliharaan dan bengkel. Seksi ini bertugas untuk melaksanakan pemeliharaan fasilitas baik peralatan pabrik maupun gedung. Selain itu, seksi ini juga bertugas untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada alat.
- Kepala seksi laboratorium dan penelitian. Seksi ini bertugas mengawasi dan menganalisa mutu bahan baku serta bahan pembantu dan mengawasi serta menganalisa mutu dari produk yang dihasilkan.
- Kepala seksi utilitas. Seksi ini bertugas untuk melaksanakan dan mengatur sarana utilitas untuk memenuhi kebutuhan proses, kebutuhan air, uap air dan tenaga listrik.

f. Kepala Bagian Pemasaran

Kepala bagian pemasaran membawahi kepala seksi pemasaran. Tugas seksi ini antara lain:

- Mengetahui harga pemasaran dan mutu bahan baku serta mengatur keluar masuknya bahan dan alat dari gudang.
- Merencanakan strategi penjualan hasil produksi.
- Mengatur distribusi barang dari gedung.

g. Kepala Bagian Keuangan dan Administrasi

Kepala Bagian Keuangan, Administrasi, dan Umum membawahi:

- Seksi Administrasi dan Keuangan, tugas seksi ini yaitu menyelenggarakan pencatatan hutang piutang, administrasi persediaan kantor dan pembukuan, serta masalah pajak.
- Seksi Personalia dan Humas, tugas seksi ini meliputi membina tenaga kerja dan menciptakan suasana kerja yang sebaik mungkin antara pekerja dan pekerjaannya serta lingkungannya supaya tidak terjadi pemborosan waktu dan biaya, mengusahakan disiplin kerja yang tinggi dalam menciptakan kondisi kerja yang dinamis, mengatur hubungan antara perusahaan dengan masyarakat di luar lingkungan perusahaan.

h. Kepala Bagian Umum

Kepala bagian umum membawahi:

- Seksi Keamanan, tugas seksi ini meliputi menjaga semua bangunan pabrik dan fasilitas-fasilitas yang ada di perusahaan, mengawasi keluar masuknya orang-orang baik karyawan maupun bukan ke dalam lingkungan perusahaan, menjaga dan memelihara kerahasiaan yang berhubungan dengan intern perusahaan

- Kesehatan dan Keselamatan Kerja, tugas seksi ini meliputi mengawasi keselamatan kerja dilingkungan Pabrik dan mengusahakan semua karyawan selalu memperhatikan K3.

i. Kepala Seksi

Kepala Seksi adalah pelaksana pekerjaan dalam lingkungan bidangnya sesuai dengan rencana yang telah diatur oleh kepala bagian masing-masing. Setiap kepala seksi bertanggung jawab terhadap kepala bagiannya masing-masing sesuai dengan seksinya.

j. Staff Ahli

Staf Ahli terdiri dari tenaga ahli yang bertugas membantu direksi dalam menjalankan tugasnya baik yang berhubungan dengan teknik maupun administrasi. Tugas dari staf ahli meliputi:

- Mempertinggi efisiensi kerja.
- Memberikan bantuan pikiran dan saran dalam perencanaan pengembangan perusahaan.
- Memperbaiki proses pabrik atau perencanaan alat dan pengembangan produksi.

4.4.4 Status Karyawan

Sistem upah karyawan dibuat berbeda-beda tergantung pada status karyawan, kedudukan, tanggung jawab, dan keahlian. Status karyawan dapat dibagi menjadi 3 golongan, antara lain:

a. Karyawan Tetap

Karyawan tetap adalah karyawan yang diangkat dan diberhentikan dengan Surat Keputusan (SK) Direksi dan mendapat gaji bulanan.

b. Karyawan Harian

Karyawan harian adalah karyawan yang diangkat dan diberhentikan tanpa Surat Keputusan (SK) Direksi dan mendapat gaji upah harian yang dibayar tiap akhir pekan.

c. Karyawan Borongan

Karyawan borongan adalah karyawan yang digunakan oleh pabrik/perusahaan bila diperlukan saja dan menerima upah borongan untuk suatu pekerjaan.

4.4.5 Jabatan dan Keahlian

Pada masing-masing jabatan dalam struktur organisasi diisi oleh orang-orang dengan spesifikasi pendidikan yang sesuai dengan jabatan dan tanggung jawab yang dijalankan.

Tabel 4. 2 Daftar Jabatan Perusahaan

Jabatan	Pendidikan	Pengalaman Bekerja (Tahun)
Direktur utama	Magister Teknik kimia	min. 5 tahun
Direktur Teknik dan produksi	Sarjana Teknik kimia	min. 3 tahun
Direktur adminitrasi, keuangan dan umum	Sarjana ekonomi	min. 2 tahun
Staf ahli	Sarjana Teknik kimia dan ekonomi	min. 2 tahun
Kepala bagian produksi	Sarjana Teknik kimia	min. 2 tahun
Kepala bagian teknik	Sarjana Teknik kimia	min. 2 tahun

Kepala bagian adminitrasi dan keuangan	Sarjana ekonomi	min. 2 tahun
Kepala bagian pemasaran	Sarjana ekonomi	min. 2 tahun
Kepala bagian umum	Sarjana hukum	min. 2 tahun
Kepala seksi proses	Sarjana Teknik kimia	min. 1 tahun
Kepala seksi pengendalian	Sarjana Teknik kimia	min. 1 tahun
Kepala seksi pemeliharaan dan bengkel	Sarjana Teknik mesin	min. 1 tahun
Kepala seksi utilitas	Sarjana Teknik kimia	min. 1 tahun
Kepala seksi adminitrasi dan keuangan	Sarjana ekonomi	min. 1 tahun
Kepala seksi personalia dan huma	Sarjana psikologi	min. 1 tahun
Kepala seksi pemasaran	Sarjana ekonomi	min. 1 tahun
Kepala seksi kesehatan dan keselamatan kerja	Sarjana K3	min. 1 tahun
Kepala seksi keamanan	Ahli madya	min. 1 tahun
Operator	Ahli madya/Sarjana	
Karyawan	Ahli madya/Sarjana	
Medis	Dokter	
Paramedis	Sarjana keperawatan	
Sopir	Lulusan SMP/Sederajat	
Satpam	Lulusan SMP/Sederajat	
<i>Cleaning service</i>	Lulusan SMP/Sederajat	

4.4.6 Karyawan

Jumlah karyawan harus disesuaikan secara tepat sehingga semua pekerjaan dapat diselesaikan dengan baik dan efisien. Penentuan jumlah karyawan dapat dilakukan dengan melihat jenis proses ataupun jumlah unit proses yang ada.

Tabel 4. 3 Data Jumlah Karyawan

Jabatan	Jumlah
Direktur utama	1
Direktur bagian	2
Staff ahli	2
Kepala bagian	5
Kepala seksi	10
Karyawan	19
Operator	48
Dokter	1
Paramedis	2
Sopir	3
Satpam	5
<i>Cleaning service</i>	5
Total	103

a. Pembagian Waktu Kerja

Pabrik ini direncanakan beroperasi 330 hari dalam satu tahun dan 24 jam perhari. Sisa hari yang bukan libur digunakan untuk perbaikan atau perawatan dan *shut down*. Sedangkan pembagian jam kerja karyawan digolongkan dalam dua golongan, yaitu:

- Karyawan *non shift*

Karyawan *non shift* adalah para karyawan yang tidak menangani proses secara langsung. Yang termasuk karyawan ini adalah Direktur, Staf ahli, Kepala Bidang, Kepala Seksi,

serta bawahan yang berada di kantor. Karyawan harian dalam satu minggu bekerja selama 5 hari dengan pembagian kerja sebagai berikut:

Jam Kerja : Senin-Jumat pukul 07.00-15.00

Jam Istirahat : Senin-Kamis pukul 12.00-13.00

Jumat pukul 11.00-13.00

- Karyawan *shift*

Karyawan *shift* adalah karyawan yang langsung menangani proses produksi atau mengatur bagian-bagian tertentu dari pabrik yang mempunyai hubungan dengan masalah keamanan dan kelancaran produksi. Yang termasuk karyawan ini adalah Direktur, Staf ahli, Kepala Bidang, Kepala Seksi, serta bawahan yang berada di kantor. Para karyawan shift akan bekerja secara bergantian sehari semalam. Karyawan shift dibagi dalam 3 *shift* dengan pengaturan sebagai berikut:

Shift Pagi : Pukul 07.00-15.00

Shift Siang : Pukul 15.00-23.00

Shift Malam : Pukul 22.00-07.00

Untuk karyawan *shift* ini, dibagi menjadi 4 regu, dimana 3 regu bekerja dan 1 regu istirahat dan dilakukan secara bergantian. Tiap regu mendapat giliran tiga hari kerja dan satu hari libur, tiap *shift* dan masuk lagi untuk *shift*

berikutnya. Untuk hari libur atau hari besar yang ditetapkan pemerintah maka regu yang masuk tetap masuk. Jadwal kerja masing-masing regu dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Jadwal Kerja Karyawan *Shift*

Regu	Hari									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S
B	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M
C	M	L	S	S	L	L	P	P	P	L
D	L	M	M	M	S	S	S	S	L	P

Keterangan:

P : Pagi

S : Siang

M : Malam

L : Libur

b. Ketenagakerjaan

- Cuti Tahunan

Cuti Tahunan, karyawan mempunyai hak cuti tahunan selama 12 hari setiap tahun. Bila dalam waktu 1 tahun hak cuti tersebut tidak dipergunakan maka hak tersebut akan hilang untuk tahun itu.

- Hari Libur Nasional

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 hari itu diperhitungkan sebagai kerja lembur (*overtime*).

- Kerja Lembur (*overtime*)

Kerja Lembur (*overtime*), kerja lembur dapat dilakukan apabila ada keperluan yang mendesak dan atas persetujuan kepala bagian.

c. Sistem Gaji Pegawai

Gaji Karyawan dibayarkan setiap bulan pada tanggal 1. Bila tanggal tersebut merupakan hari libur, maka pembayaran gaji dilakukan sehari sebelumnya. Sistem gaji perusahaan dibagi menjadi tiga golongan, yaitu:

- Gaji Bulanan, gaji ini diberikan kepada pegawai tetap. Besarnya sesuai dengan peraturan perusahaan.
- Gaji Harian, gaji ini diberikan kepada karyawan tidak tetap atau buruh harian.
- Gaji Lembur, gaji ini diberikan kepada karyawan yang melebihi jam kerja yang telah ditetapkan besarnya sesuai dengan peraturan perusahaan.

Tabel 4. 5 Gaji Karyawan Berdasarkan Jabatan

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji per Orang/Bulan	Jumlah Gaji per Bulan (Rp)
1.	Direktur utama	1	35.000.000	35.000.000
2.	Direktur bagian	2	30.000.000	60.000.000
3.	Satff ahli	2	25.000.000	50.000.000
4.	Kepala bagian	5	20.000.000	100.000.000
5.	Kepala seksi	10	15.000.000	150.000.000
6.	Karyawan	19	10.000.000	190.000.000
7.	Operator	48	10.000.000	480.000.000
8.	Dokter	1	15.000.000	15.000.000
9.	Paramedis	2	8.000.000	16.000.000
10.	Satpam	5	5.000.000	25.000.000
11.	Sopir	3	5.000.000	15.000.000
12.	<i>Cleaning service</i>	5	5.000.000	25.000.000
Total		103	444.000.000	1.127.000.000

d. Fasilitas Karyawan

Tersedia fasilitas yang memadai dapat meningkatkan kelangsungan produktifitas karyawan dalam suatu perusahaan. Adanya fasilitas dalam perusahaan bertujuan agar kondisi jasmani dan rohani karyawan tetap terjaga dengan baik, sehingga karyawan tidak merasa jenuh dalam menjalankan tugas sehari-harinya. Sehubungan dengan hal tersebut, maka perusahaan menyediakan fasilitas yang bermanfaat dalam lingkungan perusahaan yang berhubungan dengan kepentingan para karyawan. Adapun fasilitas-fasilitas yang diberikan perusahaan meliputi:

- Poliklinik, untuk meningkatkan efisien produksi, faktor kesehatan karyawan merupakan hal yang sangat

berpengaruh. Oleh karena itu, perusahaan menyediakan fasilitas poliklinik yang ditangani oleh dokter dan perawat.

- Pakaian kerja, untuk menghindari kesenjangan antar karyawan, perusahaan memberikan dua pasang pakaian kerja setiap tahunnya, selain itu juga disediakan masker sebagai alat pengaman kerja.
- Makan dan minum, perusahaan menyediakan makan dan minum 1 kali sehari yang akan dikelola oleh perusahaan *catering* yang ditunjuk oleh perusahaan.
- Koperasi, koperasi karyawan didirikan untuk mempermudah karyawan dalam hal simpan pinjam, memenuhi kebutuhan pokok dan perlengkapan rumah tangga serta kebutuhan lainnya.
- Tunjangan Hari Raya (THR), tunjangan ini diberikan setiap tahun, yaitu menjelang Hari Raya Idul Fitri dan besarnya tunjangan tersebut sebesar satu bulan gaji.
- Jamsostek, merupakan asuransi pertanggungjawaban jiwa dan asuransi kecelakaan.
- Tempat Ibadah, perusahaan membangun tempat ibadah agar karyawan dapat menjalankan kewajiban rohaninya dan melaksanakan aktifitas keagamaan lainnya.
- Transportasi, untuk meningkatkan produktifitas dan meringankan beban pengeluaran karyawan, perusahaan

memberikan uang transportasi setiap hari yang penyerahannya bersamaan dengan penerimaan gaji tiap bulannya.

- Hak cuti
 - o Cuti Tahunan, diberikan kepada karyawan selama 12 hari kerja dalam 1 tahun.
 - o Cuti Massal, diberikan 4 hari kerja kepada karyawan setiap tahun bertepatan dengan hari raya Idul Fitri.

BAB V

UTILITAS

Unit pendukung proses atau sering disebut unit utilitas merupakan sarana penunjang yang sangatlah penting dalam menciptakan kelancaran jalan proses produksi. Proses produksi tidak berjalan dengan baik tanpa adanya unit utilitas. Unit utilitas pabrik Novolak Resin dari Fenol dan Formaldehid dengan kapasitas 14.000 ton/tahun ini meliputi unit penyediaan dan pengolahan air, unit pembangkit *steam*, unit pembangkit listrik, unit penyedia udara tekan, unit penyedia bahan bakar, unit pengolahan limbah,

5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Tugas dari unit ini untuk menyediakan air guna memenuhi kebutuhan proses maupun rumah tangga. Air yang digunakan bisa diambil dari air sungai, sumur, waduk, danau, dan laut. Sumber bahan baku utama dalam proses perancangan pabrik ini adalah air yang diperoleh dari Sungai Kali Berung yang terletak di Desa Terate, Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang, Banten.

Air Sungai Kali Berung masih mengandung pasir, mineral- mineral, ion-ion, dan kotoran yang harus diolah terlebih dahulu sebelum digunakan. Pengolahan air ini bertujuan untuk menjaga alat - alat proses agar tidak cepat rusak serta menjaga adanya kontaminan yang akan menyebabkan reaksi antara reaktan-reaktan yang terdapat dalam proses. Pertimbangan menggunakan air sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air adalah :

- a. Air sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya tinggi, sehingga persediaan air tercukupi.
- b. Letak sungai berada didekat lokasi pabrik.
- c. Jumlah persediaan air sungai lebih banyak dibandingkan dengan air sumur.
- d. Air sungai relatif lebih mudah dalam pengolahannya, sederhana, dan biayanya lebih murah dibandingkan dengan pengolahan air laut.

Air yang berada dalam lingkungan pabrik, digunakan untuk :

- a. Air Pendingin

Air pendingin digunakan sebagai media untuk mendinginkan/menurunkan suhu pada alat-alat yang memerlukan penurunan suhu saat proses produksi. Volume air pendingin yang digunakan biasanya dalam jumlah banyak, sehingga untuk sumber yang digunakan harus diperoleh dengan mudah dan persediaan yang melimpah. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan air pendingin yaitu :

- Air tidak mengandung besi karena besi dapat menyebabkan korosi pada alat.
- Air tidak mengandung mineral, mineral yang terkandung dalam air dapat meningkatkan kesadahan pada air.
- Organisme mikroskopis perlu dihilangkan terlebih dahulu untuk menghindari terjadinya *fouling* pada alat yang menggunakan pendingin.

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Pendingin

No.	Alat	Kode Alat	Kebutuhan Air (Kg/Jam)
1.	Reaktor – 01	R – 01	19.454,789
2.	Cooler – 01	CL – 01	12.079
3.	Cooler – 02	CL – 02	10,676
4.	Condensor – 01	CD – 01	518
5.	Condensor – 02	CD – 02	393
Jumlah			43.121

Kebutuhan total air pendingin = 43.121 Kg/Jam

Perancangan dibuat *overdesign* 20%, sehingga kebutuhan air pendingin menjadi :

Kebutuhan air pendingin = 51.745,7 Kg/Jam

Jumlah air menguap (W_e) = $0,00085 \times 51.745,7 \times 10$
 = 366,532 Kg/Jam

Drift Loss (W_d) = $0,0002 \times 51.745,7$
 = 10,349 Kg/Jam

Blowdown (W_b) = $\frac{W_e - (\text{cycle}-1)W_d}{\text{cycle}-1}$, dipilih *cycle* 4 kali
 = 111,828 Kg/Jam

Sehingga jumlah *Make Up* air (W_m) adalah :

Jumlah *Make Up* air = $W_e + W_d + W_b$
 = 488,709 Kg/Jam

Perancangan dibuat *overdesign* 20%, sehingga jumlah *Make Up* air menjadi :

$$\text{Jumlah } \textit{Make Up} \text{ air} = 586,451 \text{ Kg/Jam}$$

b. Air Umpan Boiler

Terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan saat pengolahan air umpan boiler, faktor-faktor tersebut yaitu :

- Kandungan gas yang terlarut dapat menyebabkan korosi.
- Kandungan mineral yang terkandung pada air dapat menyebabkan *foaming* dan *scalling*.

Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Umpan Boiler

No.	Alat	Kode	Jumlah (Kg/Jam)
1.	<i>Heater</i> – 01	HE – 01	245,9296
2.	<i>Heater</i> – 02	HE – 02	0,0188
3.	<i>Heater</i> – 03	HE – 03	0,0101
4.	<i>Heater</i> – 04	HE – 04	202,8768
5.	<i>Heater</i> – 05	HE – 05	0,0001
6.	<i>Reboiler</i> – 01	RB – 01	0,2471
7.	<i>Reboiler</i> – 02	RB – 02	0,0188
Jumlah			449,1014

Perancangan dibuat *overdesign* sebesar 20% sehingga :

$$\text{Kebutuhan air } \textit{steam} = 20\% \times 449,1014$$

$$= 538,9216 \text{ Kg/Jam}$$

$$\text{Blowdown} = 15\% \text{ dari kebutuhan steam}$$

$$= 80,8382 \text{ Kg/Jam}$$

$$\text{Air yang menguap} = 5\% \text{ dari kebutuhan steam}$$

$$= 26,9461 \text{ Kg/Jam}$$

$$\text{Kebutuhan air make up untuk steam} = \text{blowdown} + \text{air menguap}$$

$$= 107,7843 \text{ Kg/Jam}$$

Perancangan dibuat *overdesign* sebesar 20% sehingga :

$$\text{Kebutuhan air make up untuk steam} = 129,3412 \text{ Kg/Jam}$$

c. Air Sanitasi

Penggunaan air sanitasi digunakan untuk keperluan kebutuhan umum kantor dan rumah tangga perusahaan seperti air minum, air laboratorium, masjid dan lain sebagainya. Syarat yang harus dipenuhi agar air sanitasi layak digunakan yaitu :

- Syarat Fisik
 - Jernih atau bening
 - Tidak memiliki rasa
 - Tidak berbau
 - Suhu air sama dengan suhu lingkungan
- Syarat Kimia
 - Tidak beracun
 - Tidak mengandung zat organik maupun anorganik
- Syarat Bakteriologis

- Tidak mengandung bakteri, terutama bakteri pathogen.

Agar syarat-syarat tersebut dapat terpenuhi, maka air perlu melalui proses desalinasi dan kloranisai sehingga air layak untuk digunakan.

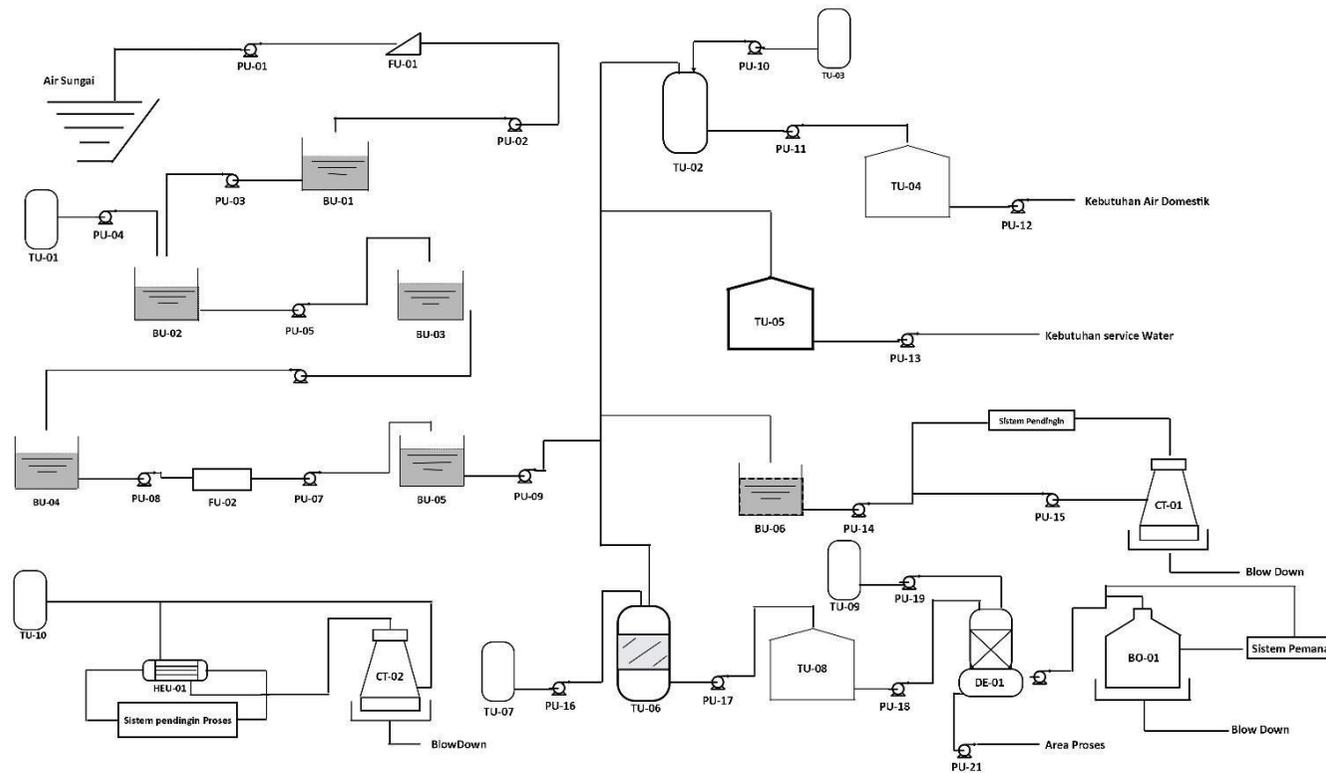
Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Sanitasi

No.	Penggunaan	Jumlah kg/hari
1.	Karyawan	24.991
2.	Mess	10.000
3.	Bengkel	300
4.	Poliklinik	500
5.	Laboratorium	500
6.	Pemadam Kebakaran	3.000
7.	Kantin, Musholla dan Kebun	8.000
Jumlah		47.291

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Perancangan suatu pabrik membutuhkan sumber air terdekat yang nantinya akan memenuhi keberlangsungan suatu proses. Pada pabrik novolak resin ini, sumber air terdekat didapatkan dari Kali Berung. Proses pengolahan dapat dilakukan secara fisik dan kimia. Tahapan proses pengolahan air dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut:

PROCESS FLOW DIAGRAM UTILITAS



Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas

Keterangan :

1. PU : Pompa Utilitas
2. FU : *Screening*
3. BO : *Boiler*
4. BU : Bak Sedimentasi
5. TU : Tangki Alumn
6. BU – 02 : Bak Koagulasi dan Floakulasi
7. SF – 01 : *Sand Filter*
8. BU – 03 : Bak Pengendap I
9. TU – 02 : Tangki Klorinasi
10. TU – 03 : Tangki Kaporit
11. TU – 04 : Tangki Air Bersih
12. TU – 05 : Tangki *Service Water*
13. TU – 06 : Tangki NaCl
14. BU – 04 : Bak Pebgendap II
15. BU – 05 : Bak Penampung Sementara
16. CT – 01 : *Cooling Tower*
17. MB – 01 : *Mixed Bed*
18. TU – 07 : Tangki Air Demin
19. TU – 08 : Tangki N2H4
20. BU – 06 : Bak Air Pendingin
21. DE – 01 : Deaerator
22. BLU – 01 : *Blower Cooling Tower*

Adapun beberapa tahapan pengolahan air yaitu sebagai berikut :

a. Penghisapan

Sebelum mengalami proses pengolahan, air dari sungai harus mengalami pembersihan awal agar proses selanjutnya dapat berlangsung dengan lancar. Air sungai dilakukan penyaringan terlebih dahulu agar kandungan padatan seperti sampah, plastik, daun, sampah dan lainnya yang terbawa oleh air dapat terpisah. Air diambil dari sungai dilakukan pemompaan sebelum dialirkan menuju alat penyaringan awal yang bertujuan untuk menghilangkan partikel kotoran yang berukuran cukup besar.

b. Penyaringan Awal / *Screen*

Sebelum mengalami proses pengolahan, air dari sungai harus mengalami pembersihan awal dimana air sungai dilewatkan *screen* (penyaringan awal) yang berfungsi untuk menahan kotoran-kotoran yang berukuran besar seperti kayu, ranting, daun, sampah dan sebagainya. Kemudian air akan ditampung didalam *reservoir*.

c. Bak Penggumpal

Air 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 atau aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dan Na_2CO_3 yang merupakan garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah sehingga dalam air yang mempunyai suasana

basa akan mudah terhidrolisa. Proses flokulasi bertujuan untuk menggumpalkan partikel-partikel menjadi flok dengan ukuran yang memungkinkan untuk dipisahkan dengan sedimentasi dan filtrasi. Alasan ditambahkan kapur karena kapur berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan kesadahan karbonat dalam air untuk mempermudah penggumpalan karena membuat suasana basa.

d. Bak Pengendap

Air sungai setelah melalui bak penggumpal dialirkan ke bak pengendap awal. Untuk mengendapkan flok atau gumpalan zat padat berukuran besar yang terbentuk. Setelah flok mengendap selanjutnya dapat dibuang (*blow down*). Kemudian dialirkan untuk difiltrasi.

e. Penyaringan (*Sand Filter*)

Air dari bak pengendap yang masih mengandung padatan tersuspensi dialirkan memasuki penyaringan untuk dilakukan filtrasi untuk menghilangkan mineral-mineral yang terkandung didalam air (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+}) dengan menggunakan resin. Filtrasi bertujuan untuk menyaring partikel-partikel halus yang masih lolos atau yang masih terdapat dalam air dan belum terendapkan. penyaringan dan pengendapan secara bertahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa air benar-benar bersih dari kotoran sehingga aman digunakan untuk proses produksi maupun kegiatan pabrik lainnya. Penyaringan pada tahap ini menggunakan *sand filter* yang terdiri dari antrasit, pasir, dan kerikil

sebagai media penyaring. *Sand Filter* dicuci (*back, wash, rinse*) bila sudah dianggap kotor.

f. Bak Penampung Air Bersih (*Filter Water Storage*)

Filtered water yang sudah melalui tahap filtrasi bisa disebut sebagai air bersih dan ditampung dalam bak penampung air bersih. Produksi *filtered water* yang ada di *storage* selanjutnya didistribusikan sebagai:

- Air layanan umum (*service water*).
- *Domestic water*.
- *Make up Cooling Tower*.
- Bahan baku *Demin Plant*.

g. *Ion Exchanger/ Demineralisasi*

Air yang akan digunakan untuk umpan boiler dan umpan pada unit proses memiliki syarat harus terbebas dari kandungan garam murni terlarut. Dilakukan proses demineralisasi ini agar ion yang terkandung dapat dihilangkan. Pada proses ini terbagi menjadi dua tahap berupa kation *exchanger* dan anion *exchanger*.

- *Kation Exchanger*

Kation Exchanger merupakan proses pelunakan air, mineral-mineral yang terkandung dalam air seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ dan mineral lainnya akan dibebaskan dari air bersih. *Kation exchanger* berisi resin yang berjenis *hydrogen-zeolite* sebagai pengganti kation dimana kandungan kation dalam air akan diganti dengan ion H^+ sehingga air keluaran dari

kation *exchanger* air yang mengandung anion dan ion H^+ . Resin memiliki masa pakai, apabila suatu resin tidak mampu lagi menangkap mineral, maka akan dilakukan regenerasi pada resin tersebut. Regenerasi resin kation *exchanger* dilakukan dengan penambahan asam kuat berupa HCl, sehingga akan membentuk garam-garam seperti NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$, KCl dan mineral sadah lainnya.

- Anion Exchanger

Air yang telah keluar dari tangki kation *exchanger* kemudian akan diumpangkan ke tangki anion *exchanger*. Tangki ini memiliki fungsi untuk mengikat ion-ion negatif (anion) yang terlarut dalam air dengan resin yang bersifat basa, sehingga anion-anion seperti CO_3^{2-} , Cl^- , dan SO_4^{2-} akan terikat dengan resin.

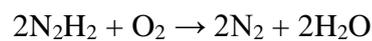
h. *Mixed Bed*

Tempat pembersihan air yang terakhir yang akan dipakai untuk mengisi *boiler* bertekanan tinggi dimana resin anion dan resin kation digabungkan dalam satu *vessel*. Kation akan terambil oleh resin kation dan anion terambil oleh resin anion. Apabila *mixed bed* sudah jenuh, maka dilakukan regenerasi, sehingga kondisi resin dapat berfungsi kembali seperti semula.

i. Deaerasi

Deaerasi merupakan proses pembebasan air umpan *boiler* dari gas-gas yang dapat menimbulkan korosi pada *boiler* seperti oksigen (O₂) dan karbondioksida (CO₂). Air yang telah mengalami demineralisasi (kation *exchanger* dan anion *exchanger*) akan dipompakan menuju *deaerator*.

Pada pengolahan air untuk (terutama) *boiler* tidak boleh mengandung gas terlarut dan padatan terlarut, terutama yang dapat menimbulkan korosi. Unit *deaerator* ini memiliki fungsi untuk menghilangkan gas O₂ dan CO₂ yang dapat menimbulkan korosi. Di dalam *deaerator* diinjeksikan bahan kimia berupa hidrazin (N₂H₂) yang berfungsi untuk mengikat oksigen berdasarkan reaksi berikut :



Sehingga dapat mencegah terjadinya korosi pada *tube boiler*. Air yang keluar dari *deaerator* kemudian dialirkan dengan pompa sebagai air umpan boiler (*boiled feed water*).

j. Bak Air Pendingin

Pendingin yang dipakai dalam proses sehari-hari berasal dari air yang telah digunakan dalam pabrik kemudian didinginkan dalam *cooling tower*. Kehilangan air karena penguapan, terbawa udara maupun dilakukannya *blow down* di *cooling tower*, diganti dengan air yang disediakan di bak air bersih. Air pendingin harus mempunyai sifat-sifat yang tidak korosif, tidak menimbulkan kerak, dan tidak mengandung mikroorganisme yang bisa menimbulkan lumut.

5.2 Unit Pembangkit *Steam*

Unit ini bertujuan untuk mencukupi kebutuhan *steam* pada proses produksi, dengan menyediakan *boiler* dengan spesifikasi :

Kapasitas : 2.129.701,534 kg/jam

Jenis : Water Tube Boiler

Jumlah : 1 buah

Alat yang membutuhkan *steam* ialah heater, dan reboiler. Sebelum masuk ke *boiler*, air harus dihilangkan kesadiahannya karena akan menimbulkan kerak di dalam *boiler*. Sebelum masuk *boiler*, air yang dilewatkan dalam *ion exchanger* dan deaerator terlebih dahulu agar tidak menimbulkan kerak. Pada *water tube boiler*, air umpan boiler dialirkan melalui susunan pipa, sedangkan pembakaran gas terjadi pada sisi barel. Keuntungannya penggunaan *water tube boiler* sebagai berikut :

- a. Mampu menghasilkan jumlah *steam* yang relatif banyak,
- b. Mempunyai kapasitas yang besar,
- c. Nilai efisiensi relatif tinggi,
- d. Tungku pembakaran mudah untuk dijangkau saat akan dibersihkan.

5.3 Unit Pembangkit Listrik

Kebutuhan listrik pada pabrik novolak resin dari fenol dan formaldehid ini dipenuhi oleh 2 sumber, yaitu: PLN, dan listrik cadangan dari *generator* pabrik. Bertujuan sebagai tenaga cadangan apabila PLN mengalami gangguan sehingga proses akan tetap berjalan. Kelebihan PLN sebagai tenaga listrik adalah biayanya yang murah, sedangkan kekurangannya adalah tenaganya tidak terlalu tetap

sehingga penyediaan listrik kurang terjamin. *Generator* yang digunakan pada pabrik ini yaitu *generator* arus bolak balik. Alasan menggunakan *generator* ini karena tenaga listrik yang dihasilkan cukup besar dan tegangan dapat dinaikkan maupun diturunkan sesuai kebutuhan. Dengan adanya *generator* maka penyediaan listrik terjamin tetapi dengan memperhatikan biaya bahan bakar dan perawatan *generator* tersebut. Energi listrik dibutuhkan untuk alat proses, alat utilitas, instrumentasi, penerangan, dan alat-alat kontrol.

Berikut spesifikasi *generator* diesel yang dapat digunakan yaitu :

Kapasitas = 117,701 kW

Jumlah = I buah

Berikut rincian untuk kebutuhan listrik pabrik :

a. Kebutuhan listrik untuk alat proses

Tabel 5. 4 Kebutuhan Listrik Alat Proses

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
<i>Mixer</i>	M – 01	5	3.728,5
Reaktor	R – 01	15	1.1185,5
<i>Neutralizer</i>	N – 01	7,5	5.592,75
Menara Distilasi	MD – 01	0	0
Menara Distilasi	MD – 02	0	0
Pompa	P – 01	0,25	186,425
Pompa	P – 02	0,25	186,425
Pompa	P – 03	0,05	37,285
Pompa	P – 04	0,05	37,285
Pompa	P – 05	0,75	559,275
Pompa	P – 06	0,50	372,85
Pompa	P – 07	0,50	372,85
Pompa	P – 08	0,50	372,85
Pompa	P – 09	1	745,7

Pompa	P – 10	1	745,7
Pompa	P – 11	1,5	1.118,55
Pompa	P – 12	1	745,7
Pompa	P – 13	1	745,7
Pompa	P – 14	1,5	1.118,55
Total		37	27.851,895

Total kebutuhan listrik untuk alat proses adalah = 37 Hp

$$= 2.7851,895 \text{ Watt}$$

$$= 27,851895 \text{ kW}$$

b. Kebutuhan listrik untuk utilitas

Tabel 5. 5 Kebutuhan Listrik Utilitas

Alat	Kode Alat	Daya Watt	
		Hp	
Bak Penggumpal	B – 02	2	1.491
<i>Blower Cooling Tower</i>	BL – 01	4	2982,8
Kompresor udara	CP – 01	6	4.474
Pompa	PU – 01	2	1491,4
Pompa	PU – 02	2	1491,4
Pompa	PU – 03	2	1491,4
Pompa	PU – 04	0,05	37,285
Pompa	PU – 05	2	1491,4
Pompa	PU – 06	2	1491,4
Pompa	PU – 07	2	1491,4
Pompa	PU – 08	2	1491,4
Pompa	PU – 09	2	1491,4
Pompa	PU – 10	0,05	37,285
Pompa	PU – 11	0,25	186,425
Pompa	PU – 12	0,25	186,425
Pompa	PU – 13	0,083	62,142
Pompa	PU – 14	2	1491,4
Pompa	PU – 15	2	1491,4
Pompa	PU – 16	0,05	37,285
Pompa	PU – 17	0,05	37,285
Pompa	PU – 18	0,05	37,285
Pompa	PU – 19	0,05	37,285

Pompa	PU – 20	0,05	37,285
Pompa	PU – 21	0,05	37,285
Total		32,983	24.595,672

Total kebutuhan listrik untuk alat utilitas adalah = 32,983 Hp
= 24.595,672 Watt
= 24,596 kW

Total listrik yang dibutuhkan untuk motor penggerak = 52.447,567 watt
= 52,448 kW

c. Kebutuhan listrik alat kontrol

Power yang dibutuhkan untuk alat kontrol diperkirakan 25% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

Kebutuhan listrik alat kontrol = 25% x 52,448
= 13,112 kW

d. Kebutuhan listrik untuk penerangan

Power yang dibutuhkan untuk alat penerangan diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

Kebutuhan listrik penerangan = 15% x 52,448
= 7,867 kW

e. Kebutuhan listrik untuk peralatan kantor

Power yang dibutuhkan untuk kantor seperti (AC, computer, dan lain-lain) diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor :

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan listrik peralatan kantor} &= 15\% \times 52,448 \\ &= 7,867 \text{ kW}\end{aligned}$$

f. Kebutuhan listrik untuk bengkel, laboratorium, dan lain-lain

Power yang dibutuhkan untuk bengkel, laboratorium, dan lain-lain diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan listrik untuk bengkel, laboratorium, dll.} &= 15\% \times 52,448 \\ &= 7,867 \text{ kW}\end{aligned}$$

g. Kebutuhan listrik perumahan

$$\begin{aligned}\text{Setiap rumah diperkirakan memerlukan listrik} &= 1.000 \text{ Watt} \\ \text{Jumlah rumah} &= 5 \text{ unit} \\ \text{Kebutuhan listrik perumahan} &= 5.000 \text{ Watt} \\ &= 5 \text{ kW}\end{aligned}$$

5.4 Unit Penyedia Udara Tekan

Kebutuhan udara tekan untuk perancangan pabrik Novolak ini diperkirakan 61,164 m³/jam, tekanan 6,267 atm dan suhu 30°C. Alat penyedia udara tekan berupa kompresor yang dilengkapi dengan *dryer* berisi silika *gel* guna menyerap kandungan air.

5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit pengolahan bahan bakar bertujuan memenuhi kebutuhan bahan bakar pada *boiler* dan *generator*. Jenis bahan bakar yang digunakan *boiler* adalah solar. Kebutuhan bahan bakar diperoleh dari PT. Pertamina (Persero). Kebutuhan bahan bakar *boiler* sebanyak 0,068 m³/jam.

Jenis bahan bakar yang digunakan *generator* adalah IDO (*Industrial Diesel Oil*). Kebutuhan bahan bakar *generator* sebesar 6,081 L/jam.

5.6 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah berfungsi untuk mengolah limbah yang dihasilkan dari seluruh area pabrik, sehingga limbah buangan pabrik tidak mencemari lingkungan. Limbah yang dihasilkan oleh pabrik novolak resin antara lain :

a. Limbah Proses

Formaldehid, fenol, benzene, Na₂SO₄, novolak, dan air dalam bentuk cair. Cairan buangan dari unit proses dikumpulkan dan diolah unit pengolahan lanjut (UPL). Pengolahan limbah logam berat dan organik secara simultan adalah dengan proses fotokalis dengan serbuk TiO₂.

b. Air Buangan Sanitasi

Air buangan sanitasi yang berasal dari seluruh rumah tangga dan sekitar pabrik dan air limbah proses dikumpulkan dan diolah dalam unit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif, aerasi dan desinfektan *calcium hypochlorite*.

c. Air Utilitas

Air buangan utilitas yang berasal dari unit demineralisasi dan hasil dari kegiatan proses produksi, seperti sisa regenerasi resin. Air sisa regenerasi dari unit penukar ion dan unit demineralisasi dinetralkan dalam kolam penetralan. Air ini bersifat asam atau basa sehingga diperlukan penetralan hingga pH 7, penetralan dilakukan dengan menggunakan larutan H_2SO_4 jika pH buangannya lebih dari 7 dan menggunakan larutan NaOH apabila pH buangannya kurang dari 7. Air hasil penetralan kemudian dialirkan menuju penampungan akhir dan dibuang.

5.7 Spesifikasi Alat Utilitas

5.7.1 Alat Transportasi Bahan Utilitas

a. Pompa Utilitas

Tabel 5. 6 Spesifikasi Pompa Utilitas

Spesifikasi	Pompa Utilitas				
Kode	PU – 01	PU – 02	PU – 03	PU – 04	PU – 05
Tujuan/Fungsi peruntukan alat	Mengalirkan air dari sungai menuju <i>screening</i>	Mengalirkan air sungai dari <i>screener</i> (FU-01) ke <i>reservoir</i> (Bak Pengendapan Awal/Sedimentasi) (BU-01)	Mengalirkan air dari Bak <i>Reservoir</i> (BU-01) menuju Bak Penggumpal (Koagulasi dan Flokulasi) (BU-02)	Mengalirkan larutan alumunium 5% dari Tangki Larutan Alumunium (TU-01) ke Bak Penggumpalan	Mengalirkan air dari Bak Penggumpal (Koagulasi dan Flokulasi) (BU-02) ke Bak Pengendap (BU-03)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>				
Tipe	<i>Axial Flow Impellers</i>	<i>Axial Flow Impellers</i>	<i>Axial Flow Impellers</i>	<i>Radial Flow Impellers</i>	<i>Axial Flow Impellers</i>
Bahan	<i>Commercial Steel</i>				
Kapasitas, gpm	363,529	345,353	345,353	0,000053	328,085
Spesifikasi					
Pump head, m	3,0001	3,0004	3,0004	3,0000	3,0004
Sch.	40	40	40	40	40

Tenaga Pompa (hP)	1,595	1,516	1,516	0,000001	1,440
Tenaga Motor (hP)	2	2	2	0,05	2

Tabel 5. 7 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Spesifikasi	Pompa Utilitas				
Kode	PU – 06	PU – 07	PU – 08	PU – 09	PU – 10
Tujuan/Fungsi peruntukan alat	Mengalirkan air dari Bak Pengendap I (BU-03) ke Bak Pengendap II (BU-04)	Mengalirkan air dari Bak Pengendap II (BU-04) menuju <i>Sand Filter</i>	Mengalirkan air dari <i>Sand Filter</i> (FU-02) ke Bak Penampungan Sementara (BU-05)	Mengalirkan air dari Bak Penampungan Sementara (BU-05) ke area kebutuhan air	Mengalirkan Kaporit dari Tangki Kaporit (TU-03) ke Tangki Klorinasi (TU-02)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>				
Tipe	<i>Axial Flow Impellers</i>	<i>Axial Flow Impellers</i>	<i>Axial Flow Impellers</i>	<i>Axial Flow Impellers</i>	<i>Radial Flow Impellers</i>
Bahan	<i>Commercial Steel</i>				
Kapasitas, gpm	328,085	311,681	296,097	281,292	0,0001
Spesifikasi					
Pump head, m	3,0004	3,0003	3,0003	3,0003	3,0000
Sch.	40	40	40	40	40
Tenaga Pompa (hP)	1,440	1,368	1,322	1,279	0,000001
Tenaga Motor (hP)	2	2	2	2	0,05

Tabel 5. 8 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Spesifikasi	Pompa Utilitas				
Kode	PU – 11	PU – 12	PU – 13	PU – 14	PU – 15
Tujuan/Fungsi peruntukan alat	Mengalirkan air dari tangki klorinasi menuju tangki air bersih	Mengalirkan air dari Tangki Air Bersih (TU-04) ke area domestik	Mengalirkan air dari tangki air <i>service</i> menuju area kebutuhan air <i>service</i>	Mengalirkan air dari Bak Air Dingin (BU-03) menuju ke <i>Cooling Tower</i> (CT-01)	Mengalirkan air dingin dari <i>Cooling Tower</i> (CT-01) ke <i>recycle</i> dari Bak Air Dingin (BU-06)
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>				
Tipe	<i>Mixed Flow Impellers</i>	<i>Mixed Flow Impellers</i>	<i>Mixed Flow Impellers</i>	<i>Axial Flow Impellers</i>	<i>Axial Flow Impellers</i>
Bahan	<i>Commercial Steel</i>				
Kapasitas, gpm	10,183	10,183	2,648	267,410	267,410
Spesifikasi					
Pump head, m	3,0002	3,0002	3,0002	3,0002	3,0002
Sch.	40	40	40	40	40
Tenaga Pompa (hP)	0,136	0,136	0,035	1,238	1,238
Tenaga Motor (hP)	0,25	0,25	0,083	2	2

Tabel 5. 9 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Spesifikasi	Pompa Utilitas					
Kode	PU – 16	PU – 17	PU – 18	PU – 19	PU – 20	PU – 21
Fungsi	Mengalirkan air dari Tangki	Mengalirkan air dari <i>Mixed Bed</i>	Mengalirkan air dari tangki air	Mengalirkan larutan	Mengalirkan air dari	Mengalirkan air dari

	larutan NaCl menuju <i>Mixed Bed</i> (TU-05)	(TU-05) menuju Tangki air Demin	Demin (TU-08) menuju Tangki Deaerator (DE-01)	Hydrazine dari Tangki N2H4 (T-08) menuju Tangki Deaerator (DE-01)	Deaerator (DE-01) menuju <i>Boiler</i>	Tangki air <i>service</i> menuju area kebutuhan <i>service</i>
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>					
Tipe	<i>Radial Flow Impellers</i>	<i>Radial Flow Impellers</i>	<i>Radial Flow Impellers</i>	<i>Radial Flow Impellers</i>	<i>Radial Flow Impellers</i>	<i>Mixed Flow Impellers</i>
Bahan	<i>Commercial Steel</i>					
Kapasitas, gpm	0,008	0,668	0,668	0,668	0,668	2,648
Spesifikasi						
Pump head, m	3,0000	3,0001	3,0001	3,0001	3,0001	3,0002
Sch.	40	40	40	40	40	40
Tenaga Pompa (hP)	0,0001	0,009	0,009	0,009	0,009	0,035
Tenaga Motor (hP)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

5.7.2 Bak Utilitas

Tabel 5. 10 Spesifikasi Bak Utilitas

Spesifikasi	Bak Utilitas					
Kode	BU – 01	BU – 02	BU – 03	BU – 04	BU – 05	BU – 06

Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air sungai dengan proses sedimentasi	Mengendapkan kotoran yang berupa dispresi koloid dalam air dengan menambahkan koagulan yang berfungsi untuk menggumpalkan kotoran	Mengendapkan endapan yang berbentuk flok yang terbawa dari air sungai dengan proses flokulasi (menghilangkan flokulasi)	Mengendapkan endapan yang berbentuk flok yang terbawa dari sungai dengan proses flokusasi	Menampung sementara <i>raw water</i> setelah disaring di <i>sand filter</i>	Menampung kebutuhan air pendingin
Jenis	Bak Persegi	Bak Silinder Tegak	Bak Persegi	Bak Persegi	Bak Persegi	Bak Persegi
Bahan	Beton Betulang Dilapisi Porselin					
Spesifikasi						
Panjang, m	9,876		9,708	9,544	5,074	14,391
Lebar, m	9,876		9,708	9,544	5,074	14,391
Tinggi, m	4,938	4,595	4,854	4,772	2,537	7,196
Diameter, m		4,595				
Jumlah, unit	1	1	1	1	1	1

5.7.3 Tangki Utilitas

Tabel 5. 11 Spesifikasi Tangki Utilitas

Spesifikasi	Tangki Utilitas
--------------------	------------------------

Kode	TU – 01	TU – 02	TU – 03	TU – 04
Fungsi	Menyiapkan dan menyimpan larutan alum 5% untuk 1 minggu operasi	Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air untuk kebutuhan rumah tangga	Menampung kebutuhan kaporit selama 1 minggu yang akan dimasukkan kedalam tangki klorinasi (TU-01)	Menampung air untuk keperluan kantor dan rumah tangga
Jenis	Silinder Tegak	Silinder Berpengaduk	Silinder Tegak	Silinder Tegak
Bahan	<i>Carbon steel</i>			
Spesifikasi				
Tinggi, m	1,380	1,444	0,188	4,166
Diameter, m	1,380	1,444	0,188	4,166
Volume, m³	4,126	2,365	0,005	56,750
Jumlah, unit	1	1	1	1

Tabel 5. 12 Spesifikasi Tangki Utilitas (Lanjutan)

Spesifikasi	Tangki Utilitas			
Kode	TU – 05	TU – 06	TU – 07	TU – 08
Fungsi	Menampung air bertekanan untuk keperluan layanan umum	Menampung / menyimpan larutan NaCl yang akan digunakan untuk regenerasi <i>kation exchanger</i>	Menampung air untuk umpan boiler	Menyimpan larutan N ₂ H ₄
Jenis	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak
Bahan	<i>Carbon steel</i>			
Spesifikasi				

Tinggi, m	2,659	0,455	1,680	0,586
Diameter, m	2,659	0,455	1,680	0,586
Volume, m³	14,760	0,074	3,725	0,158
Jumlah, unit	1	1	1	1

5.7.4 *Screener Utilitas*

Tabel 5. 13 Spesifikasi *Screener Utilitas*

Spesifikasi	<i>Screener</i>
Kode	FU – 01
Fungsi	Menyaring kotoran-kotoran yang berukuran besar seperti daun, ranting dan sampah-sampah lainnya
Bahan	Aluminium
Lebar, ft	8
Panjang, ft	10
Diameter, cm	1
Jumlah	1

5.7.5 *Sand Filter Utilitas*

Tabel 5. 14 Spesifikasi *Sand Filter Utilitas*

Spesifikasi	<i>Sand Filter</i>
Kode	FU – 02
Fungsi	Menyaring partikel-partikel halus yang ada dalam air sungai
Bahan	<i>Spheres</i>
Panjang, m	2,487
Lebar, m	2,487
Tinggi, m	1,244
Jumlah	1

5.7.6 *Cooling Tower Utilitas*

Tabel 5. 15 Spesifikasi *Cooling Tower Utilitas*

Spesifikasi	<i>Cooling Tower</i>
Kode	CT – 01
Jenis	<i>Cooling Tower Induced Draft</i>
Fungsi	Mendinginkan air pendingin setelah digunakan
Panjang, m	2,469
Lebar, m	2,469
Tinggi, m	2,927
Jumlah	1

5.7.7 *Mixed Bed Utilitas*

Tabel 5. 16 Spesifikasi *Mixed Bed Utilitas*

Spesifikasi	<i>Mixed Bed</i>
Kode	MB – 01
Fungsi	Menghilangkan kesadahan air yang disebabkan oleh kation seperti Ca, dan Mg, serta anion seperti Cl, SO ₄ , dan NO ₃
Jenis	Tangki silinder tegak
Resin	Zeolit
Diameter tangki, m	0,130
Tinggi tangki, m	1,676
Volume bed, m³	0,018
Volume bak resin, m³	111,699
Tebal, in	0,188
Jumlah	1

5.7.8 *Deaerator Utilitas*

Tabel 5. 17 Spesifikasi *Deaerator Utilitas*

Spesifikasi	<i>Deaerator</i>
Kode	DE – 01
Fungsi	Menghilangkan gas CO ₂ dan O ₂ yang terikat dalam feed water yang menyebabkan kerak pada reboiler dan turbin
Jenis	Tangki silinder tegak
Tinggi, m	0,583
Diameter, m	0,583
Volume, m³	0,155
Jumlah	1

5.7.9 *Blower Cooling Tower Utilitas*

Tabel 5. 18 Spesifikasi *Blower Cooling Tower Utilitas*

Spesifikasi	<i>Blower Cooling Tower</i>
Kode	BL – 01

Fungsi	Menghisap udara sekeliling untuk dikontakkan degan air yang akan didinginkan
Jenis	<i>Centrifugal Blower</i>
Bahan	<i>Carbon Steel SA-285 grade C</i>
Kapasitas, ft³/Jam	1567029,409
Efisiensi	0,84
Power, hP	4
Jumlah	1

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

6.1 Evaluasi Ekonomi

Pada evaluasi ekonomi perancangan pabrik novolak resin dari fenol dan formaldehid merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam pendirian suatu pabrik. Dengan dilakukannya evaluasi ekonomi bisa untuk memperkirakan modal investasi untuk mengetahui apakah pabrik yang sedang dirancang layak atau tidak jika didirikan. Salah satu bagian penting dari perancangan pabrik ini adalah estimasi harga dari alat-alat yang akan digunakan dalam kebutuhan pabrik, karena harga alat tersebut digunakan sebagai dasar patokan untuk estimasi, evaluasi, analisa ekonomi tentang kelayakan investasi penanaman modal dalam suatu kegiatan produksi suatu pabrik dengan melihat kebutuhan modal investasi, besarnya laba yang akan diperoleh kedepannya, lamanya modal penanaman investasi dapat dikembalikan, dan terjadinya titik impas atau balik modal.

Hal-hal yang perlu ditinjau atau di analisa pada perancangan pabrik novolak resin ini yaitu dalam kelayakan investasi penanaman modal dalam sebuah pabrik novolak resin dapat diperkirakan dan dianalisa antara lain :

1. *Return On Investment (ROI)*
2. *Pay Out Time (POT)*
3. *Break Even Point (BEP)*
4. *Shut Down Point (SDP)*
5. *Discounted Cash Flow Rate (DCFR)*

Ada beberapa hal yang harus diperkirakan sebelum melakukan analisis terhadap lima faktor diatas, yakni :

1. Penentuan modal industri (*fixed capital investment*) yang meliputi :
 - a. Modal tetap (*fixed capital investment*).
 - b. Modal kerja (*working capital investment*).
2. Penentuan total biaya produksi (*total production cost*) yang meliputi :
 - a. Biaya pembuatan (*manufacturing cost*).
 - b. Biaya pengeluaran umum (*general expenses*).
3. Pendapatan Modal

Perkiraan yang perlu dilakukan untuk mengetahui titik impas, sebagai berikut :

- a. Biaya tetap per tahun (*fixed cost annual*).
- b. Biaya variabel per tahun (*variable cost annual*).
- c. Biaya mengambang (*regulated cost annual*).

6.2 Penaksiran Harga Peralatan

Harga peralatan akan berubah setiap saat tergantung pada kondisi ekonomi yang mempengaruhinya. Untuk mengetahui harga peralatan yang pasti setiap tahun sangatlah sulit, sehingga diperlukan suatu metode atau cara untuk memperkirakan harga alat pada tahun tertentu dan perlu diketahui terlebih dahulu harga indeks peralatan operasi pada tahun tersebut.

Pabrik novolak resin beroperasi selama satu tahun produksi yaitu 330 hari, dan tahun evaluasi pada tahun 2028. Di dalam analisa ekonomi harga-harga alat maupun

harga-harga lain diperhitungkan pada tahun analisa. Untuk mengetahui harga alat pada tahun 2028 untuk pendirian pabrik, maka dicari indeks pada tahun tersebut. Harga indeks pada tahun 2028 dapat diperkirakan dengan data indeks dari tahun-tahun sebelumnya. Pada analisis ini menggunakan data indeks harga pada tahun 1990 sampai dengan 2018 yang kemudian dicari menggunakan persamaan regresi linier. Grafik hubungan antara tahun dan indeks harga dapat dilihat pada tabel berikut :

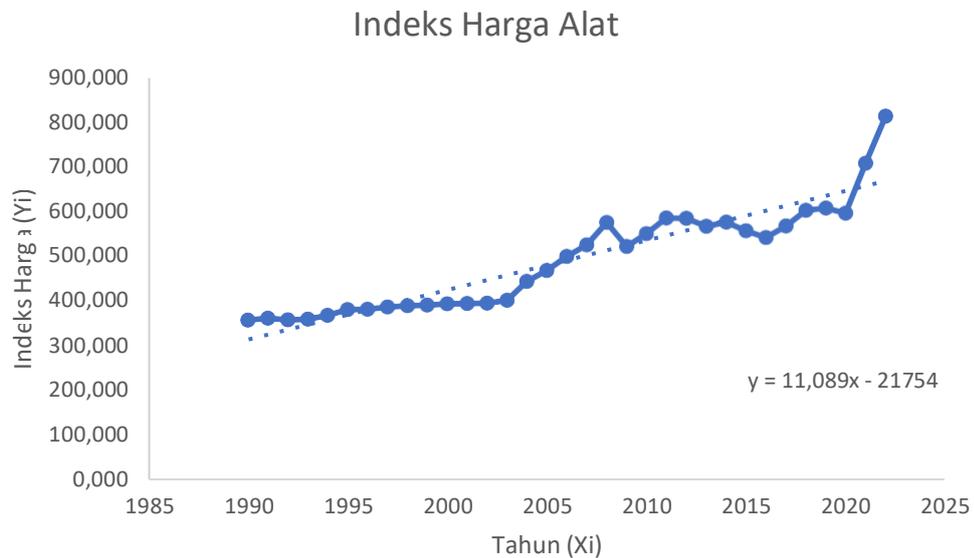
Tabel 6. 1 Indeks Harga Alat (Chemical Engineering Progress, 2017)

No.	Tahun (Xi)	Indeks (Yi)
1	1990	357,6
2	1991	361,3
3	1992	358,2
4	1993	359,2
5	1994	368,1
6	1995	381,1
7	1996	381,7
8	1997	386,5
9	1998	389,5
10	1999	390,6
11	2000	394,1
12	2001	394,3
13	2002	395,6

14	2003	402,0
15	2004	444,2
16	2005	468,2
17	2006	499,6
18	2007	525,4
19	2008	575,4
20	2008	521,9
21	2009	550,8
22	2010	585,7
23	2011	584,6
24	2012	567,3
25	2013	576,1
26	2014	556,8
27	2015	541,7
28	2016	567,5
29	2017	603,1
21	2018	607,5

Dari data diatas, maka persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $y = 11,089x - 21754$. Pabrik novolak resin dari fenol dan formaldehid kapasitas 14.000 ton/tahun akan didirikan pada tahun 2028 dan beroperasi pada tahun 2029. Dari persamaan regresi linear tersebut diperoleh indeks sebesar 752,744 pada tahun

2028. Grafik hubungan antara tahun dan indeks harga dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6. 1 Grafik Indeks Harga Alat

Dengan asumsi kenaikan linear, berdasarkan data di atas maka didapatkan persamaan berikut :

$$y = 11,089x - 21754$$

Dimana :

y : indeks harga

x : tahun pembelian

Dari persamaan di atas didapatkan harga indeks pada tahun 2028 adalah 752,744. Harga alat pada tahun pabrik didirikan dapat ditentukan berdasarkan harga pada tahun referensi dikalikan dengan rasio indeks harga (DallaValle, 1955).

$$Ex = Ey \frac{Nx}{Ny}$$

Dimana :

Ex : Harga pembelian pada tahun 2028

Ey : Harga pembelian pada tahun referensi

Nx : Indeks harga pada tahun 2028

Ny : Indeks harga pada tahun referensi

6.3 Dasar Perhitungan

Dasar perhitungan yang digunakan dalam analisis ekonomi pabrik novolak resin ini adalah :

Kapasitas produksi = 14.000 Ton/Tahun

Satu tahun operasi = 330 hari

Pabrik didirikan = 2028

Kurs mata uang = 1 US\$ = Rp 15.040,30

(per Juli 2023)

6.4 Perhitungan Biaya

6.4.1 *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 modal untuk menjalankan operasi dari suatu pabrik selama waktu tertentu.

6.4.2 *Manufacturing Cost*

Manufacturing cost merupakan jumlah *direct*, *indirect* dan *fixed manufacturing cost*, yang bersangkutan dalam pembuatan produk.

Menurut Aries & Newton (Tabel 23), *manufacturing cost* meliputi:

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.

6.4.3 General Expense

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

6.5 Analisa Kelayakan

Analisa atau evaluasi kelayakan pada suatu perancangan pabrik dilakukan untuk dapat mengetahui seberapa besar keuntungan yang diperoleh sehingga dapat dikategorikan apakah pabrik tersebut potensial untuk didirikan atau tidak. Beberapa komponen yang harus dihitung dalam menyatakan kelayakan suatu pabrik adalah :

6.5.1 Return On Investment (ROI)

Return on investment merupakan perkiraan suatu keuntungan yang diperoleh setiap tahun, didasarkan pada kecepatan pengembalian modal tetap yang diinvestasikan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *percent return on investment* adalah :

$$ROI = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\%$$

Profit atau keuntungan dihitung berdasarkan *annual sales* (Sa) dan *total manufacturing cost*. *Finance* akan dihitung sebagai komponen yang berisikan pengembalian hutang selama pembangunan pabrik. Pabrik dengan resiko

rendah mempunyai *ROI before tax* sebesar 11% sedangkan pada pabrik dengan resiko tinggi minimum *ROI before tax* sebesar 44%.

6.5.2 Pay Out Time (POT)

Pay out time merupakan waktu pengambilan modal yang dihasilkan dari keuntungan yang diperoleh. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui beberapa tahun modal investasi yang dilakukan akan kembali. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *pay out time* adalah.

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{\text{Keuntungan Tahunan} + \text{Depresiasi}}$$

Pabrik dengan resiko rendah mempunyai nilai POT maksimal 5 tahun, sedangkan pada pabrik dengan resiko tinggi mempunyai nilai POT maksimal 2 tahun.

6.5.3 Break Even Point (BEP)

Break Event Point adalah titik impas atau biasa disebut balik modal yaitu suatu titik dimana kondisi pabrik mendapatkan keuntungan maupun kerugian. Perusahaan yang sudah mencapai titik *Break Even Point* yaitu perusahaan yang sudah mempunyai kesamaan antara modal yang di gunakan untuk melakukan proses suatu produksi dengan pendapatan produk yang sudah dihasilkan. Jumlah produksi saat penjualan sama dengan pengeluaran. Pabrik akan mengalami kerugian jika beroperasi dibawah *Break Even Point*. dan apabila beroperasi diatas *Break Even Point* pabrik bisa dikatakan untung. Nilai BEP pabrik kimia pada umumnya adalah 40-60%.

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

Keterangan :

Fa : *Annual fixed manufacturing cost* pada produksi maksimum.

Ra : *Annual regulated expenses* pada produksi maksimum.

Sa : *Annual variable value* pada produksi maksimum.

Va : *Annual sales value* pada produksi maksimum.

6.5.4 *Shut Down Point (SDP)*

Shut down point adalah titik di mana suatu aktivitas produksi dalam pabrik harus berhenti, hal ini disebabkan ada beberapa penyebab diantaranya yaitu *variable cost* yang sangat tinggi, atau keputusan yang salah dalam pengambilan keputusan yang mengakibatkan *cost* tidak ekonomis dan menyebabkan pabrik tidak menghasilkan profit yang diharapkan. Kapasitas persen minimal suatu pabrik bisa mencapai kapasitas produk dalam jangka waktu satu tahun, apabila persen yang ditentukan tidak bisa dicapai dalam waktu satu tahun maka pabrik yang sebelumnya beroperasi harus diberhentikan/ditutup sementara atau ditutup secara permanen.

$$SDP = \frac{0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\%$$

Dimana :

Ra : *Annual regulated expenses* pada produksi maksimum

V_a : *Annual variable value* pada produksi maksimum

S_a : *Annual sales value* pada produksi maksimum

6.5.5 *Discounted Cash Flow Rate Of Return (DCFR)*

Discount Cash Flow Rate of Return merupakan salah satu cara metode yang digunakan untuk menghitung prospek suatu pertumbuhan investasi dalam beberapa kurun waktu kedepan. Gambaran dari metode *Discount Cash Flow Rate of Return* ini jika kita sebagai seorang investor dan menginvestasikan sebagian dana, ingin mengetahui pertumbuhan berapa persen atau mungkin berapa kali lipat setelah beberapa waktu kedepan. Biasa disebut juga arus kas yang terdiskon, dikarenakan dari cara menghitungnya adalah dengan mengestimasi arus dana yang akan datang untuk kemudian di potong dan bisa menghasilkan nilai pada masa terkini.

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

Keterangan :

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

6.6 Hasil Perhitungan

Hasil rancangan perhitungan rencana pendirian pabrik novolak resin dari fenol dan formaldehid ini memerlukan perencanaan keuangan dan analisis yang baik untuk meninjau apakah pabrik ini layak untuk didirikan atau tidak. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 6.2 sampai dengan Tabel 6.14.

6.6.1 Penentuan *Fixed Capital Investment* (FCI)

Tabel 6. 2 *Physical Plant Cost* (PPC)

Type of Capital Investment	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Purchased Equipment Cost</i>	41.629.237.288	2,767,846.206
<i>Delivered Equipment Cost</i>	10.407.309.322	691,961.551
Instalasi Cost	13.282.577.853	883,132.508
Pemipaan	30.461.588.297	2,025,331.163
Instrumentasi	11.622.897.278	772,783.607
Insulasi	2.608.777.392	173,452.484
Listrik	4.162.923.729	276,784.621
Bangunan	13.145.400.000	874,011.822
<i>Land & Yard Improvement</i>	20.967.000.000	1,394,054.640
Physical Plant Cost (PPC)	148.287.711.159	9,859,358.601

Tabel 6. 3 *Direct Plant Cost* (DPC)

Type of Capital Investment	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Engineering and Construction</i>	29.657.542.232	1,971,871.720
<i>Physical Plant Cost (PPC)</i>	148.287.711.159	9,859,358.601
Total (DPC+PPC)	177.945.253.391	11,831,230.321

Tabel 6. 4 *Fixed Capital Investment (FCI)*

<i>Type of Capital Investment</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
Total DPC+PPC	177.945.253.391	11,831,230.321
Kontraktor	71.178.101.356	4,732,492.128
Biaya tak terduga	17.794.525.339	1,183,123.032
<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	266.917.880.087	17,746,845.481

6.6.2 Penentuan *Total Production Cost (TPC)*

Tabel 6. 5 *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Raw Material</i>	771.061.116.255	51,266,338.853
Labor	13.5224.000.000	899,184.192
Supervision	1.352.400.000	89,918.419
<i>Maintenance</i>	5.338.357.602	354,936.910
<i>Plant Supplies</i>	800.753.640	53,240.536
<i>Royalty and Patents</i>	24.460.800.000	81,317,526.911
<i>Utilities</i>	1.798.584.608	119,584.357
<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	818.336.012.106	54,409,553.806

Tabel 6. 6 *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Payroll OverHead</i>	2.028.600.000	134,877.629
<i>Laboratory</i>	1.352.400.000	89,918.419
<i>Plant OverHead</i>	6.762.000.000	449,592.096
<i>Packaging and Shipping</i>	61.152.000.000	4,065,876.346
<i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>	71.295.000.000	4,740,264.489

Tabel 6. 7 *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Depreciation</i>	21.353.430.407	1,419,747.638
<i>Property Taxes</i>	2.669.178.801	177,468.455

<i>Insurance</i>	2.669.178.801	177,468.455
Fixed Manufacturing Cost (FMC)	26.691.788.009	1,774,684.548

Tabel 6. 8 *Manufacturing Cost (MC)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	818.336.012.106	54,409,553.806
<i>Inderect Manufacturing Cost (IMC)</i>	71.295.000.000	4,740,264.489
<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	26.691.788.009	1,774,684.548
<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	916.322.800.115	60,924,502.843

Tabel 6. 9 *Working Capital (WC)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Raw Material Inventory</i>	70.096.465.114	4,660,576.259
<i>In Process Inventory</i>	1.374.484.200.172	91,386,754.265
<i>Product Inventory</i>	83.302.072.738	5,538,591.168
<i>Extended Credit</i>	111.185.454.545	7,392,502.446
<i>Available Cash</i>	83.302.072.737	5,538,591.168
<i>Working Capital (WC)</i>	1.722.370.265.306	114,5517,015.306

Tabel 6. 10 *General Expense (GE)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Administration</i>	24.460.800.000	1,626,350.538
<i>Sales Expense</i>	122.304.000.000	8,131,752.691
<i>Research</i>	34.245.120.000	2,276,891.754
<i>Finance</i>	39.785.762.908	2,645,277.216
<i>General Expense (GE)</i>	220.795.682.908	14,680,271.199

Tabel 6. 11 *Total Production Cost (TPC)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	916.322.800.115	60,924,502.843
<i>General Expense (GE)</i>	220.795.682.908	14,680,271.199
<i>Total Production Cost (TPC)</i>	1.137.118.483.022	75,604,774.042

6.6.3 Penentuan *Fixed Cost (Fa)*

Tabel 6. 12 *Fixed Cost (Fa)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Depreciation</i>	21.353.430.407	1,419,747.638
<i>Property Taxes</i>	2.669.178.801	177,468.455
<i>Insurance</i>	2.669.178.801	177,468.455
<i>Fixed Cost (Fa)</i>	26.691.788.009	1,774,684.548

6.6.4 Penentuan *Variable Cost (Va)*

Tabel 6. 13 *Variable Cost (Va)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Raw Material</i>	771.061.116.255	51,266,338.853
<i>Packaging & Shipping</i>	61.152.000.000	1,065,876.346
<i>Utilities</i>	1.798.584.608	119,584.357
<i>Royalties and Patents</i>	24.460.800.000	1,626,350.538
<i>Variable Cost (Va)</i>	858.472.500.864	57,078,150.094

6.6.5 Penentuan *Regulated Cost (Ra)*

Tabel 6. 14 *Regulated Cost (Ra)*

<i>Type of Expense</i>	Harga (Rp)	Harga (\$)
<i>Labor Cost</i>	13.524.000.000	899,184.192

<i>Plant overHead</i>	6.762.000.000	449,592.096
<i>Payroll overHead</i>	2.028.600.000	134,877.629
<i>Supervision</i>	1.352.400.000	89,918.419
<i>Laboratory</i>	1.352.400.000	89,918.419
<i>Maintenance</i>	5.338.357.602	354,936.910
<i>Plant Supplies</i>	800.753.640	53,240.536
<i>General Expense</i>	220.795.682.908	14,680,271.199
<i>Regulated Cost (Ra)</i>	251.954.194.150	16,751,939.399

6.7 Hasil Analisa Keuntungan

$$\text{Keuntungan} = \text{Total Penjualan Produk} - \text{Total Biaya Produksi}$$

Total penjualan produk = Rp. 1.223.040.000.000

Total biaya produksi = Rp. 1.137.118.483.022

Keuntungan sebelum pajak = Rp. 85.921.516.978

Keuntungan setelah pajak = Rp. 67.737.213.582

6.8 Hasil Kelayakan Ekonomi

6.8.1 Percent Return On Investment (%ROI)

$$\%ROI = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\%$$

ROI sebelum pajak = 32%

ROI setelah pajak = 26%

6.8.2 Pay Out Time (POT)

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{\text{Keuntungan Tahunan} + \text{Depresiasi}}$$

POT sebelum pajak = 2,370

POT sesudah pajak = 2,797

6.8.3 Break Even Point (BEP)

Fixed Cost (Fa) = Rp. 26.691.788.009

Variabel Cost (Va) = Rp. 858.472.500.864

Regulated Cost (Ra) = Rp. 251.954.194.150

Penjualan Produk (Sa) = Rp. 1.223.040.000.000

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

BEP = 54,346%

6.8.4 Shut Down Point (SDP)

$$SDP = \frac{(0,3Ra)}{(Sa - Va - 0,7Ra)} \times 100\%$$

SDP = 40,163%

6.8.5 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)

Umur pabrik = 10 Tahun

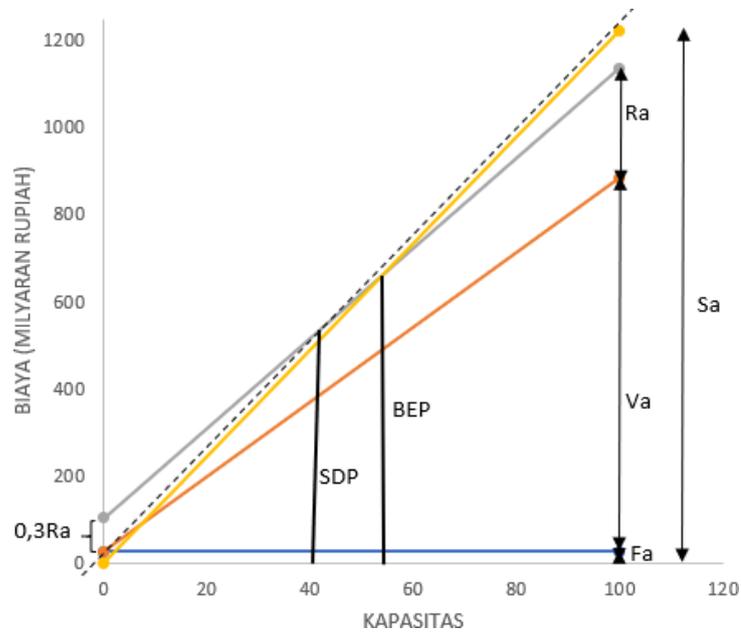
Cash Flow = Rp. 129.876.406.897

Working Capital (WC) = Rp. 1.722.370.265.307

Salvage Value (SV) = Rp. 21.353.430.407

Fixed Capital (Fa) = Rp. 266.917.880.087

Dengan *Trial and Error* diperoleh nilai *I* sebesar 0,066 sehingga diperoleh nilai *Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)* adalah sebesar 6,613%.



Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi

6.9 Analisa Resiko Pabrik

Suatu pabrik harus dilihat risikonya apakah pabrik tersebut tinggi (*high risk*) atau beresiko rendah (*low risk*). Resiko pabrik ini dapat ditinjau dari berbagai parameternya yang dapat dilihat dari Tabel 6.15 dan 6.16.

Tabel 6. 15 Hasil Analisa *High Risk* dan *Low Risk*

No.	Parameter Resiko	Deskripsi	Risk	
			High	Low
1.	Kondisi Operasi	Suhu maksimal yang digunakan 180,599 °C		✓
		Tekanan maksimal yang digunakan 1 atm		✓
2.	Bahan Baku yang Digunakan	<i>Diamond hazard</i> formaldehid : <ul style="list-style-type: none"> • <i>Health hazard</i> : 3 • <i>Fire hazard</i> : 2 • <i>Instability hazard</i> : 0 	✓	
		<i>Diamond hazard</i> fenol : <ul style="list-style-type: none"> • <i>Health hazard</i> : 3 • <i>Fire hazard</i> : 2 • <i>Instability hazard</i> : 0 	✓	
		<i>Diamond hazard</i> asam sulfat : <ul style="list-style-type: none"> • <i>Health hazard</i> : 3 • <i>Fire hazard</i> : 0 • <i>Instability hazard</i> : 2 	✓	
		<i>Diamond hazard</i> natrium hidroksida : <ul style="list-style-type: none"> • <i>Health hazard</i> : 3 • <i>Fire hazard</i> : 0 • <i>Instability hazard</i> : 1 		✓
		<i>Diamond hazard</i> air : <ul style="list-style-type: none"> • <i>Health hazard</i> : 0 • <i>Fire hazard</i> : 0 • <i>Instability hazard</i> : 0 		✓
		Ketersediaan bahan baku : lokal/dalam negeri		✓
3.	Sifat Produk yang Dihasilkan	<i>Diamond hazard</i> novolak resin : <ul style="list-style-type: none"> • <i>Health hazard</i> : 1 • <i>Fire hazard</i> : 1 • <i>Instability hazard</i> : 0 		✓
4.	Regulasi Pemerintah	Limbah pabrik		✓
5.	Keberadaan Pabrik	Desa Terate, Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang, Banten.		✓

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 6.15 maka dapat disimpulkan bahwa pabrik novolak resin dengan kapasitas 14.000 ton/tahun termasuk ke dalam kategori *low risk*.

Untuk analisa ekonomi diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 6. 16 Hasil Analisa Ekonomi

Kriteria	Terhitung	Keterangan
Profit		
Profit sebelum pajak	Rp. 85.921.516.978	
Profit setelah pajak	Rp. 68.737.213.582	
Return On Investment (ROI)		
ROI sebelum pajak	32%	ROI <i>before taxes</i> pabrik <i>low risk</i> <i>minimum 11%</i>
ROI setelah pajak	26%	
Pay Out Time (POT)		
POT sebelum pajak	2,370 Tahun	POT <i>before taxes</i> pabrik <i>low risk</i> <i>maximum 5 tahun</i>
POT setelah pajak	2,797 Tahun	
BEP	54,346%	Berkisar 40 – 60%
SDP	40,163%	
DCFR	6,613%	>1,5 bunga bank = <i>minimum = 8,25%</i>

Dari data hasil analisa resiko pabrik dan ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik Novolak Resin dengan kapasitas 14.000 ton/tahun merupakan pabrik yang tergolong dalam *low risk* yang layak dan menarik untuk dikaji lebih lanjut.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan prarancangan pabrik novolak resin dari fenol dan formaldehid dengan kapasitas 14.000 ton/tahun, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pendirian pabrik novolak resin dari fenol dan formaldehid dengan kapasitas 14.000 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, mengurangi ketergantungan impor, memberikan lapangan pekerjaan dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi.
2. Pabrik akan didirikan di Serang, Banten dengan pertimbangan mudah mendapatkan bahan baku, tenaga kerja, pengembangan pabrik, ketersediaan air dan listrik, serta mempunyai prospek pemasaran yang baik karena lokasinya yang tepat di kawasan industri.
3. Berdasarkan tinjauan kondisi operasi, pemilihan bahan baku dan jenis produk, maka pabrik novolak resin dari fenol dan formaldehid ini tergolong pabrik berisiko rendah (*low risk*).
4. Berdasarkan analisa ekonomi pabrik novolak resin ini, maka didapatkan,
 - a. Keuntungan sebelum pajak : Rp. 85.921.516.978
 - b. Keuntungan setelah pajak : Rp. 68.737.213.582
 - c. Return of Investment sebelum pajak (ROIb) : 32%
 - d. Return of Investment setelah pajak (ROIa) : 26%
 - e. Pay Out Time sebelum pajak (POTb) : 2,370 Tahun

- | | |
|--------------------------------------|---------------|
| f. Pay Out Time setelah pajak (POTa) | : 2,797 Tahun |
| g. Break Even Point (BEP) | : 54,346% |
| h. Shut Down Point (SDP) | : 40,163% |
| i. Discounted Cash Flow Rate (DCFR) | : 6,613% |
5. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, maka pabrik novolak resin dari fenol dan formaldehid dengan kapasitas 14.000 ton/tahun layak untuk didirikan dan dikaji lebih lanjut.

7.2 Saran

Prarancangan suatu pabrik kimia diperlukan pemahaman konsep – konsep dasar yang dapat meningkatkan kelayakan pendirian suatu pabrik kimia diantaranya sebagai berikut :

1. Optimasi pemilihan seperti alat proses atau alat penunjang dan bahan baku perlu diperhatikan sehingga akan lebih mengoptimalkan keuntungan yang diperoleh.
2. Perancangan pabrik kimia tidak lepas dari produksi limbah, sehingga diharapkan berkembangnya pabrik-pabrik kimia yang lebih ramah lingkungan.
3. Produk novolak resin dapat direalisasikan sebagai sarana untuk memenuhi kebutuhan di masa mendatang yang jumlahnya semakin meningkat melihat pesatnya kebutuhan masyarakat saat ini.

4. Pendirian pabrik novolak resin dapat menjadi solusi pemerintah untuk mendorong tumbuhnya industri kimia di dalam negeri, agar menjadi sektor penggerak perekonomian nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Alma, M. H., Yoshioka, M., Yao, Y., & Shiraishi, N. (1996a). *Phenolation of Wood Using Oxalic Acid as a Catalyst: Effects of Temperature and Hydrochloric Acid Addition*.
- Alma, M. H., Yoshioka, M., Yao, Y., & Shiraishi, N. (1996b). The Preparation and Flow Properties of HCl Catalyzed Phenolated Wood and its Blends with Commercial Novolak Resin. In *Holzforschung* (Vol. 50).
- Alma, M. H., Yoshioka, M., Yao, Y., & Shiraishi, N. (1998). Preparation of sulfuric acid-catalyzed wood resin. In *Wood Science and Technology* (Vol. 32). Springer-Verlag.
- Andi Djemma Palopo, U. (2018). *Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Dengan Metode Six-Sigma Pada Industri Air Minum PT Asera Tirta Posidonia, Kota Palopo Quality Control Analysis of Production with Six-Sigma Method in Drinking Water Industry PT. Asera Tirta Posidonia: Vol. VII* (Issue 2). Cetak. <http://ojs.unm.ac.id/index.php/sainsmat>
- Bansode, A., Barde, M., Asafu-Adjaye, O., Patil, V., Hinkle, J., Via, B. K., Adhikari, S., Adamczyk, A. J., Farag, R., Elder, T., Labbé, N., & Auad, M. L. (2021). Synthesis of Biobased Novolac Phenol-Formaldehyde Wood Adhesives from Biorefinery-Derived Lignocellulosic Biomass. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 9(33), 10990–11002. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c01916>
- Carraher Jr., C. E. (2007). Seymour/Carraher's Polymer Chemistry. In *Seymour/Carraher's Polymer Chemistry*. <https://doi.org/10.1201/9781420051032>
- DallaValle, J. M. (1955). Chemical Engineering Cost Estimation . Robert S. Aries and Robert D. Newton. McGraw-Hill, New York, 1955. xiii + 263 pp. \$6. . *Science*, 122(3180). <https://doi.org/10.1126/science.122.3180.1143.a>
- Hesse, W. (n.d.). "Phenolic Resins," in: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. https://doi.org/10.1002/14356007.a19_371.pub2
- Kirk-Othmer. (1998). Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology - Vol 8. In *Journal of the American Chemical Society* (Vol. 5).
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th Edition. In *Journal of Petrology* (Vol. 369, Issue 1).

- Pizzi, A. (Antonio), & Mittal, K. L. (2003). *Handbook of adhesive technology*. M. Dekker.
- Rokhati, N., & Prasetyaningrum, A. (2008). *PEMBUATAN RESIN PHENOL FORMALDEHID TERHADAP APLIKASINYA SEBAGAI VERNIS* (Vol. 12, Issue 1).
- Sarika, P. R., Nancarrow, P., Khansaheb, A., & Ibrahim, T. (2020). Bio-based alternatives to phenol and formaldehyde for the production of resins. In *Polymers* (Vol. 12, Issue 10, pp. 1–24). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym12102237>
- Smith, J. M. (Joseph M., Van Ness, H. C. (Hendrick C.), Abbott, M. M., & Swihart, M. T. (Mark T. (n.d.). *Introduction to chemical engineering thermodynamics*.
- Suprianto, E. (2016). *PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI MENGGUNAKAN ALAT BANTU STATISTIK (SEVEN TOOLS) DALAM UPAYA MENEKAN TINGKAT KERUSAKAN PRODUK* (Vol. 6, Issue 2).
- Teknik Juli, D., Prihastono, E., & Prakoso, B. (n.d.). *PERAWATAN PREVENTIF UNTUK MEMPERTAHANKAN UTILITAS PERFORMANCE PADA MESIN COOLING TOWER DI CV.ARHU TAPSELINDO BANDUNG*.
- Uyigüe, *, & Kubianga, L. &. (2018). Estimation of Product Yield and Kinetic Parameters of Phenolic-Resin Pre-Polymer Synthesis Using Acid and Base as Catalyst. In *International Journal of Engineering and Modern Technology* (Vol. 4, Issue 3). www.iiardpub.org
- Yaws, C. L. (1999). Chemical Properties Handbook. In *McGRAW-HILL* (Vol. 5, Issue 3).
- Zhang, C., Binienda, W. K., Zeng, L., Ye, X., & Chen, S. (2011). Kinetic study of the novolac resin curing process using model fitting and model-free methods. *Thermochimica Acta*, 523(1–2), 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.04.033>
- Zhao, Y., Zhang, B., Yan, N., & Farnood, R. R. (2013). Synthesis and characterization of phenol formaldehyde novolac resin derived from liquefied mountain pine beetle infested lodgepole pine barks. *Macromolecular Reaction Engineering*, 7(11), 646–660. <https://doi.org/10.1002/mren.201300112>

LAMPIRAN A

PERANCANGAN REAKTOR

Fungsi : Mereaksikan formaldehid, fenol, dan asam sulfat menjadi novolak resin.

Fase : Cair – cair.

Tipe : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)

Bahan Konstruksi : *Stainless steel SA – 167 grade 11 type 316*

Kondisi Operasi :

Tekanan : 1 atm

Suhu : 95 °C

Perbandingan mol : $C_6H_5OH : CH_2O = 1 : 0,8$

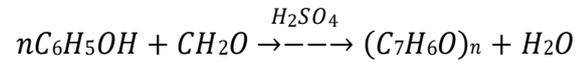
Konversi : 98%

Digunakan reaktor jenis Reaktor Alir Tangki Berpengaduk karena :

1. Fase umpan yang direaksikan adalah cair.
2. Fase katalis yang digunakan adalah cair.
3. Harga alat relative lebih murah.
4. Perawatan dan pembersihan alat lebih mudah.
5. Konstruksi lebih sederhana.

1. Neraca Massa Reaktor

Reaksi di reaktor adalah sebagai berikut :



Fenol Formaldehida Novolak Air

a. Reaktor 1

Komponen	Masuk Reaktor	
	Kg/jam	Kmol/jam
C ₆ H ₅ OH	2041,674	21,720
C ₆ H ₆	20,623	0,264
CH ₂ O	521,278	17,376
H ₂ O	887,792	49,311
H ₂ SO ₄	0,511	0,005
Total	3.471,157	88,670

b. Reaktor 2

Komponen	Masuk Reaktor	
	Kg/jam	Kmol/jam
C ₆ H ₅ OH	653,336	6,950
C ₆ H ₆	20,623	0,264
CH ₂ O	78,192	2,606
H ₂ O	1153,444	64,080
H ₂ SO ₄	0,511	0,005
C ₇ H ₆ O	1.565,573	14,770
Total	3.471,678	88,676

2. Kinetika Reaksi

Reaksi pembentukan novolak resin dari fenol dan formaldehid yang memiliki perbandingan mol 1: 0,8 dengan katalis asam berupa asam sulfat

merupakan reaksi orde 2. Dengan harga kecepatan reaksi sebesar 13,792 m³/kmol.jam (Zhang et al., 2011).

3. Menentukan Densitas dan Viskositas Cairan

a. Reaktor 1

Komponen	xi (Fraksi Massa)	ρ(Kg/m ³)	μ(Cp)	ρ camp	μ camp
C ₆ H ₅ OH	0,588	968,914	0,703	0,00025	0,41326
C ₆ H ₆	0,006	744,940	0,186	0,00000	0,00110
CH ₂ O	0,150	567,625	0,039	0,00035	0,00586
H ₂ O	0,256	913,881	0,196	0,00061	0,05007
H ₂ SO ₄	0,0001	1.687,500	3,231	0,00000	0,00048
Total	1	4882,860	4,355	0,00121	0,471

b. Reaktor 2

Komponen	xi (Fraksi Massa)	ρ(Kg/m ³)	μ(Cp)	ρ camp	μ camp
C ₆ H ₅ OH	0,141	968,914	0,703	0,00008	0,0992
C ₆ H ₆	0,004	744,940	0,186	0,00000	0,0008
CH ₂ O	0,017	567,625	0,039	0,00005	0,0006
H ₂ O	0,249	913,881	0,196	0,00079	0,0488
H ₂ SO ₄	0,000	1.687,500	3,231	0,00000	0,806
(C ₇ H ₆ O) _n	0,339	1.270,714	0,537	0,00013	0,1818
Total	1	4882,860	4,355	0,00106	1,137

4. Menentukan Laju Volumetrik Cairan

$$F_v = \frac{\text{massa} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Jam}} \right)}{\rho \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

a. Reaktor 1

Komponen	Massa (Kg/Jam)	ρ (Kg/m ³)	Fv (m ³ /Jam)
C ₆ H ₅ OH	2041,674	968,914	2,107

C ₆ H ₆	20,623	744,940	0,028
CH ₂ O	521,278	567,625	0,918
H ₂ O	887,792	913,881	0,971
H ₂ SO ₄	0,511	1.687,500	0,000
Total	3.471,678	4882,860	4,025

Sehingga diperoleh laju alir volumetriknya adalah 4,025 m³/jam.

b. Reaktor 2

Komponen	Massa (Kg/Jam)	ρ (Kg/m³)	Fv (m³/Jam)
C ₆ H ₅ OH	653,336	0,00008	0,674
C ₆ H ₆	20,623	0,00000	0,028
CH ₂ O	78,192	0,00005	0,138
H ₂ O	1153,444	0,00079	1,262
H ₂ SO ₄	0,511	0,00000	0,684
C ₇ H ₆ O	1.565,573	0,00013	1,232
Total	3.471,678	0,00106	4,017

Sehingga diperoleh laju alir volumetriknya adalah 4,017 m³/jam.

5. Optimasi Reaktor

Neraca massa di reaktor :

$$R_{in} - R_{out} - R_{reaction} = R_{acc}$$

$$F_{A0} - F_A - (-r_A)V = 0$$

$$V = \frac{F_{A0} - F_A}{(-r_A)}$$

Dimana,

$$F_A = C_A \times F_V$$

$$F_{A0} = C_{A0} \times F_{V0}$$

$$F_V = F_{V0}$$

$$M = \frac{C_{B0}}{C_{A0}}$$

$$V = \frac{C_{A0}F_V - C_A F_V}{(-r_A)}$$

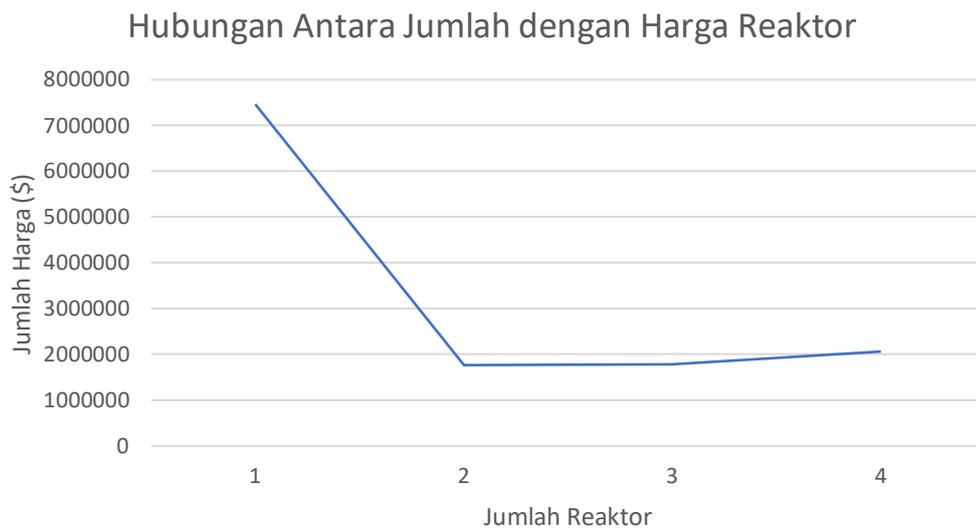
Maka, didapatkan rumus akhir:

$$V = F_V \frac{X}{kC_{A0}(1 - X_A)(M - X_A)}$$

Dengan menggunakan ketiga persamaan diatas, dapat dicari optimasi reaktor dengan metode *trial dan eror*, sehingga didapat hasilnya sebagai berikut,

n	Xn	X	V (m³)
1	0	0,98	11.817,525
2	0	0,85	395,000
	0,85	0,98	
3	0	0,73	174,000
	0,73	0,93	
	0,92	0,98	
4	0	0,62	107,700
	0,62	0,85	
	0,85	0,94	
	0,94	0,98	

n	V (gallon)	V_{tot} (gallon)	Harga (\$)	Harga Total (\$)
1	3.121.859,4599	3.121.859,4599	\$ 7.460.007,565	\$ 7.460.007,565
2	92.460,2000	184.920,4000	\$ 880.778,316	\$ 1.761.556,632
3	45.965,9280	137.897,7840	\$ 593.680,629	\$ 1.781.041,886
4	28.451,3244	113.805,2976	\$ 513.708,435	\$ 2.054.833,740



Maka, jumlah reaktor yang optimum untuk digunakan pada pra rancangan pabrik Novolak Resin ini adalah 2 reaktor dikarenakan paling ekonomis.

6. Perancangan Reaktor

a. Dimensi Reaktor

Asumsi :

- Volume cairan selama reaksi tetap.
- Kondisi isothermal

$$\text{Volume shell} = 350 \text{ m}^3$$

$$\text{Over design} = 20\%$$

$$\text{Volume reaktor over design} = 420 \text{ m}^3$$

Perbandingan diameter dan tinggi reaktor yang optimum adalah $D=H$, karena jika H/D terlalu besar atau terlalu kecil maka:

- Pengadukan tidak sempurna.
- Ada gradien konsentrasi di dalam reaktor.
- Distribusi panas tidak merata.

$$V_{\text{shell}} = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

$$V_{\text{shell}} = \frac{\pi}{4} D^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times V_{\text{shell}}}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times 350}{3,14}}$$

$$D = H = 8,118 \text{ m} = 319,614 \text{ in} = 26,635 \text{ ft}$$

Bentuk reaktor adalah *vessel* dengan silinder tegak dan *head* berbentuk *torispherical dished head*.

$$V_{\text{head}} = V_{\text{dish}} + V_{\text{sf}}$$

$$V_{\text{head}} = 0,000049D_3 + \frac{\pi D_2}{4} + \frac{\text{sf}}{144}$$

$$V_{\text{head}} = 0,000049(319,614)^3 + \frac{3,14}{4} (319,614)^2 + \frac{2}{144}$$

$$V_{\text{head}} = 5.427,181 \text{ in}^3 = 0,089 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{reaktor}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{head}}$$

$$V_{\text{reaktor}} = (420 + 0,089) \text{ m}^3$$

$$V_{\text{reaktor}} = 420,178 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{bottom}} = 0,5 \times V_{\text{head}}$$

$$V_{\text{bottom}} = 0,5 \times 0,089$$

$$V_{\text{bottom}} = 0,044 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cairan}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{bottom}}$$

$$V_{\text{cairan}} = 140 + 0,089$$

$$V_{\text{cairan}} = 419,956 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{cairan}} = \frac{4 \times V_{\text{cairan}}}{\pi D^2}$$

$$H_{\text{cairan}} = \frac{4 \times 419,956}{3,14 \times 8,118^2}$$

$$H_{\text{cairan}} = 8,117 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cairan dalam shell}} = V_{\text{cairan}} - V_{\text{head}} - V_{\text{sf}}$$

$$V_{\text{cairan dalam shell}} = 419,956 - 0,089 - 2$$

$$V_{\text{cairan dalam shell}} = 349,893 \text{ m}^3$$

b. Tebal *shell* reaktor

- **Tekanan total**

$$P_{\text{total}} = P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{total}} = \frac{\rho g h}{g_c} + P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{total}} = 9,531 + 14,696$$

$$P_{\text{total}} = 24,231 \text{ psi}$$

- **Tekanan desain**

$$\text{Over design} = 20\%$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times 24,231 \text{ psi}$$

$$P_{\text{design}} = 29,078 \text{ psi}$$

- **Tebal *shell***

Diketahui:

$$P_{\text{desain}} = 29,078 \text{ psi}$$

$$r = 159,807 \text{ in}$$

$$E = 0,85$$

$$C = 0,125$$

$$f = 18750$$

$$t_s = \frac{Pr}{(fE - 0,6 P)} + C$$

$$t_s = \frac{29,078 \times 159,807}{(18750 \times 0,85 - 0,6 \times 29,078)} + 0,125$$

$$t_s = 0,4175 \text{ in}$$

Diambil T_s standar sebesar 0,25 atau 1/4.

c. **Tebal *head* reaktor**

- **Tekanan**

$$P = P_{\text{desain}} - P_{\text{operasi}}$$

$$P = 29,078 - 14,696$$

$$P = 14,378 \text{ psi}$$

- **Menentukan OD**

$$OD = ID_{shell} - 2ts$$

$$OD = 319,614 - (2 \times 0,4169)$$

$$OD = 320,448 \text{ in} = 8,140 \text{ m}$$

Dipilih ukuran OD standar dan didapatkan:

$$OD = 240 \text{ in}$$

$$Ts = 1,125$$

$$icr = 14,438 \text{ in}$$

$$r = 180 \text{ in}$$

$$E = 0,85$$

$$C = 0,125$$

$$f = 18750 \text{ psi}$$

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right)$$

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{108}{6,875}} \right)$$

$$w = 1,633$$

- **Tebal head**

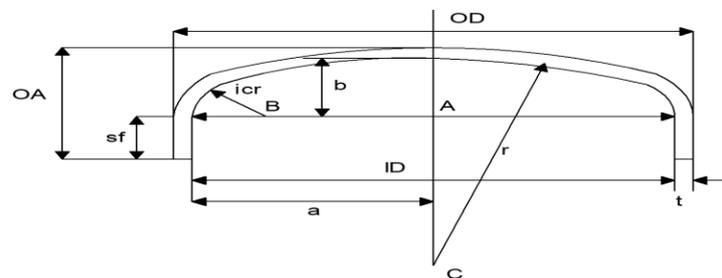
$$th = \frac{Prw}{(2fE - 0,2 P)} + C$$

$$th = \frac{14,378 \times 180 \times 1,633}{(2 \times 18750 \times 0,85 - 0,2 \times 14,378)} + C$$

$$th = 0,243$$

Diambil Ts standar sebesar 0,25 atau 1/4.

d. Tinggi head reaktor



Dengan th sebesar 1/4 inchi, maka nilai sf berkisar 1,5 – 2 inchi. Dipilih nilai sf 2 inchi.

$$ID = OD - 2ts$$

$$ID = 240 - 2 \times 1,125$$

$$ID = 237,75 \text{ in}$$

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$a = \frac{237,75}{2}$$

$$a = 118,875 \text{ in}$$

$$AB = a - icr$$

$$AB = 118,875 - 14,4375$$

$$AB = 104,438 \text{ in}$$

$$BC = r - icr$$

$$BC = 180 - 14,4375$$

$$BC = 104,438 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2}$$

$$AC = \sqrt{165,563^2 - 104,438^2}$$

$$AC = 128,467 \text{ in}$$

$$b = r - AC$$

$$b = 180 - 128,467$$

$$b = 51,533 \text{ in}$$

$$h_{\text{head}} = th + b + sf$$

$$h_{\text{head}} = 0,25 + 51,533 + 2$$

$$h_{\text{head}} = 53,783 \text{ in}$$

$$h_{\text{reaktor}} = 2h_{\text{head}} + h_{\text{shell}}$$

$$h_{\text{reaktor}} = 2 \times 1,367 + 8,118$$

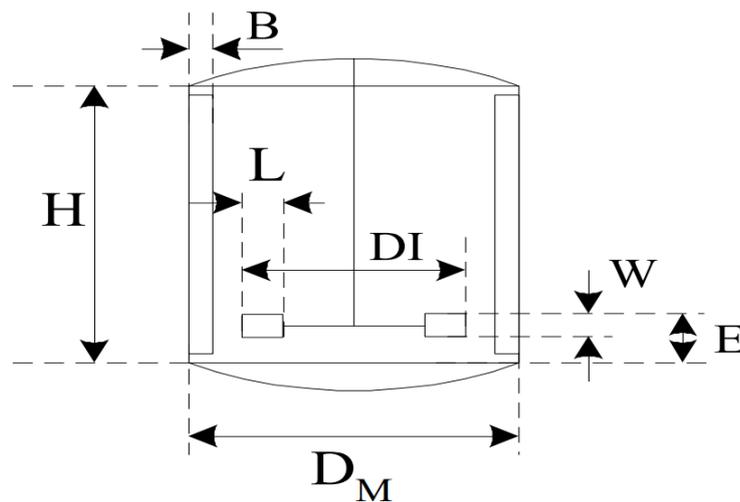
$$h_{\text{reaktor}} = 10,850 \text{ m}$$

7. Perancangan Pengaduk

Pada reaktor alir tangka berpengaduk (RATB) dibutuhkan pengaduk untuk mencampurkan beberapa senyawa menjadi satu agar tercampur secara homogen.

a. Spesifikasi Pengaduk

Untuk viskositas 0,471 cP, maka jenis pengaduk yang dipilih adalah *Flat Blade Turbines Impeller*.



Menurut Holland, F.A dan F.S jenis pengaduk tersebut mempunyai 6 *blade* dan reaktor dilengkapi 4 *baffle*.

$$D_M = D_{\text{shell}}$$

$$D_M = 8,118 \text{ m}$$

$$\frac{DI}{D_M} = \frac{1}{3}$$

$$DI = \frac{8,118}{3}$$

$$DI = 2,706 \text{ m} = 8,878 \text{ ft}$$

$$\frac{E}{D_M} = \frac{1}{3}$$

$$E = \frac{8,118}{3}$$

$$E = 2,706 \text{ m}$$

$$\frac{B}{D_M} = \frac{1}{12}$$

$$B = \frac{8,118}{12}$$

$$B = 0,677 \text{ m}$$

$$\frac{L}{DI} = \frac{1}{4}$$

$$L = \frac{2,706}{4}$$

$$L = 0,677 \text{ m}$$

$$\frac{W}{D_M} = \frac{1}{5}$$

$$W = \frac{8,118}{5}$$

$$W = 1,624 \text{ m}$$

$$\frac{H}{D_M} = 1$$

$$H = 8,118 \text{ m}$$

b. Menghitung Jumlah Impeller

$$sg = \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{\text{air}}}$$

$$sg = \frac{826,094}{913,881}$$

$$sg = 0,903$$

$$WELH = h_{\text{cairan}} \times sg$$

$$WELH = 8,117 \times 0,903$$

$$WELH = 7,338 \text{ m}$$

$$\Sigma \text{ impeller} = \frac{WELH}{D}$$

$$\Sigma \text{ impeller} = \frac{7,338}{8,118}$$

$$\Sigma \text{ impeller} = 0,903 \approx 1$$

c. Menentukan Putaran Pengaduk

$$\frac{WELH}{2DI} = \left(\frac{\pi DI N}{600} \right)^2$$

$$N = \frac{600}{\pi DI} \sqrt{\frac{WELH}{2 DI}}$$

$$N = \frac{600}{3,14 \times 2,706} \sqrt{\frac{7,338}{2 \times 2,706}}$$

$$N = 25,0615 \text{ rpm} = 10,417 \text{ rps}$$

Maka dipilih motor tipe *fixed speed belt* dengan kecepatan motor standar 37 rpm atau 0,617 rps.

d. Menentukan Daya Motor

$$R_E = \frac{\rho_L N D I^2}{\mu_L}$$

$$R_E = \frac{51,548 \times 0,617 \times 8,879^2}{0,0003}$$

$$R_E = 7.920.159,739$$

Berdasarkan *figure* 10.59, Towler dan Sinnott, maka didapatkan nilai N_p sebesar 6.

$$P = \frac{N^3 D I^2 \rho N_p}{550 \text{ gc}}$$

$$P = \frac{0,62^3 \times 8,878^2 \times 51,548 \times 6}{550 \times 32,150}$$

$$P = 226,251 \text{ HP}$$

Berdasarkan *figure* 14.38 Peters, diambil efisiensi motor sebesar 87%.

$$\text{Daya motor} = \frac{P}{\eta}$$

$$\text{Daya motor} = \frac{226,251}{0,92}$$

$$\text{Daya motor} = 245,926$$

Berdasarkan standar NEMA, Rase & Barrow maka dipilih daya motor standar sebesar 200 HP.

8. Menghitung Dimensi Pendingin Reaktor

a. Menghitung T_{LMTD}

$$T_h \text{ in} = 140^\circ\text{C} = 284^\circ\text{F}$$

$$T_c \text{ out} = 30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$$

$$T_h \text{ out} = 140^\circ\text{C} = 284^\circ\text{F}$$

$$T_{c \text{ out}} = 40^{\circ}\text{C} = 104^{\circ}\text{F}$$

Inisial	Fluida Panas ($^{\circ}\text{F}$)		Fluida Dingin ($^{\circ}\text{F}$)	ΔT (ΔT)
ΔT_2	284	<i>Lower temp</i>	86	198
ΔT_1	284	<i>Higher temp</i>	104	180

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{198 - 180}{\ln\left(\frac{198}{180}\right)}$$

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = 188,857^{\circ}\text{F}$$

b. Menghitung Kebutuhan Pendingin

Diketahui :

$$Q = 830.443,156 \text{ kJ/Jam}$$

$$C_p \text{ air} = 4,148 \text{ kJ/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{in}} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{out}} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{pendingin}} = \frac{Q}{C_p(T_{\text{out}} - T_{\text{in}})}$$

$$m_{\text{pendingin}} = \frac{830.443,156}{752,134}$$

$$m_{\text{pendingin}} = 1.104,116 \text{ kmol/jam}$$

$$m_{\text{pendingin}} = 43.814,419 \text{ lb/Jam}$$

c. Menghitung Luas Transfer Panas

Berdasarkan Tabel 8 page 840 buku Kern, 1965 untuk fluida panas *light organics* (viskositasnya dibawah 0,5 cP) dan fluida dingin air maka nilai UD = 75-150 Btu/ft.°F.Jam.

Diambil nilai UD = 75 Btu/ft.°F.jam

Maka,

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta T_{\text{LMTD}}}$$

$$A = \frac{830.443,156}{75 \times 188,857}$$

$$A = 55,581 \text{ ft}^2 = 5,163 \text{ m}^2$$

d. Menghitung Luas Selubung

$$A = \pi \times D \times H$$

$$A = 3,14 \times 8,118 \times 8,118$$

$$A = 206,942 \text{ m}^2$$

Dikarenakan luas transfer panas < luas selubung reaktor, maka dipilih jaket pendingin.

e. Menghitung Ukuran Jaket Pendingin

Jaket pendingin berbentuk mengikuti reaktor yaitu *vessel* dengan silinder tegak dan *head* berbentuk *torispherical dished head*.

$$ID = OD + 2jw$$

$$ID = 240 + 2 \times 2$$

$$ID = 244 \text{ in}$$

Dikarenakan perbandingan pada reaktor $D = H$, maka pada jaket pendingin $D = H$, sehingga:

$$H = D$$

$$H = 244 \text{ in}$$

f. Menghitung Tebal Dinding Jaket

$$ts = \frac{Pr}{fE - 0,6 P} + C$$

$$ts = \frac{17,640 \times 122}{18750 \times 0,850 - 0,6 \times 17,640} + 0,125$$

$$ts = 0,260 \text{ in}$$

Dipilih nilai t_s standar yaitu 0,186 in atau 3/16 in.

$$OD = ID + 2t_s$$

$$OD = 244 + 2 \times 0,260$$

$$OD = 244,52 \text{ in}$$

Pada tabel 5.7 Brownell hal. 90 dipilih ukuran OD standar 114 in.

g. Menghitung U_c dan U_d

- **U_c**

$$U_c = \frac{h_{i_o} \cdot h_o}{h_{i_o} + h_o}$$

$$U_c = \frac{4.963,326 \cdot 13,147}{4.963,326 + 13,147}$$

$$U_c = 13,119 \text{ Btu/ft. } ^\circ\text{F. Jam}$$

- **U_d**

Dari buku Kern table 12 hal. 845: *Fouling Factor R_d (Jaket Eng.)* diambil nilai R_d teoritis 0,001 ft/hr. $^\circ\text{F/btu}$, maka:

$$h_D = \frac{1}{R_d}$$

$$hD = \frac{1}{0,001}$$

$$hD = 1000$$

$$U_d = \frac{U_c \cdot h_o}{U_c + h_o}$$

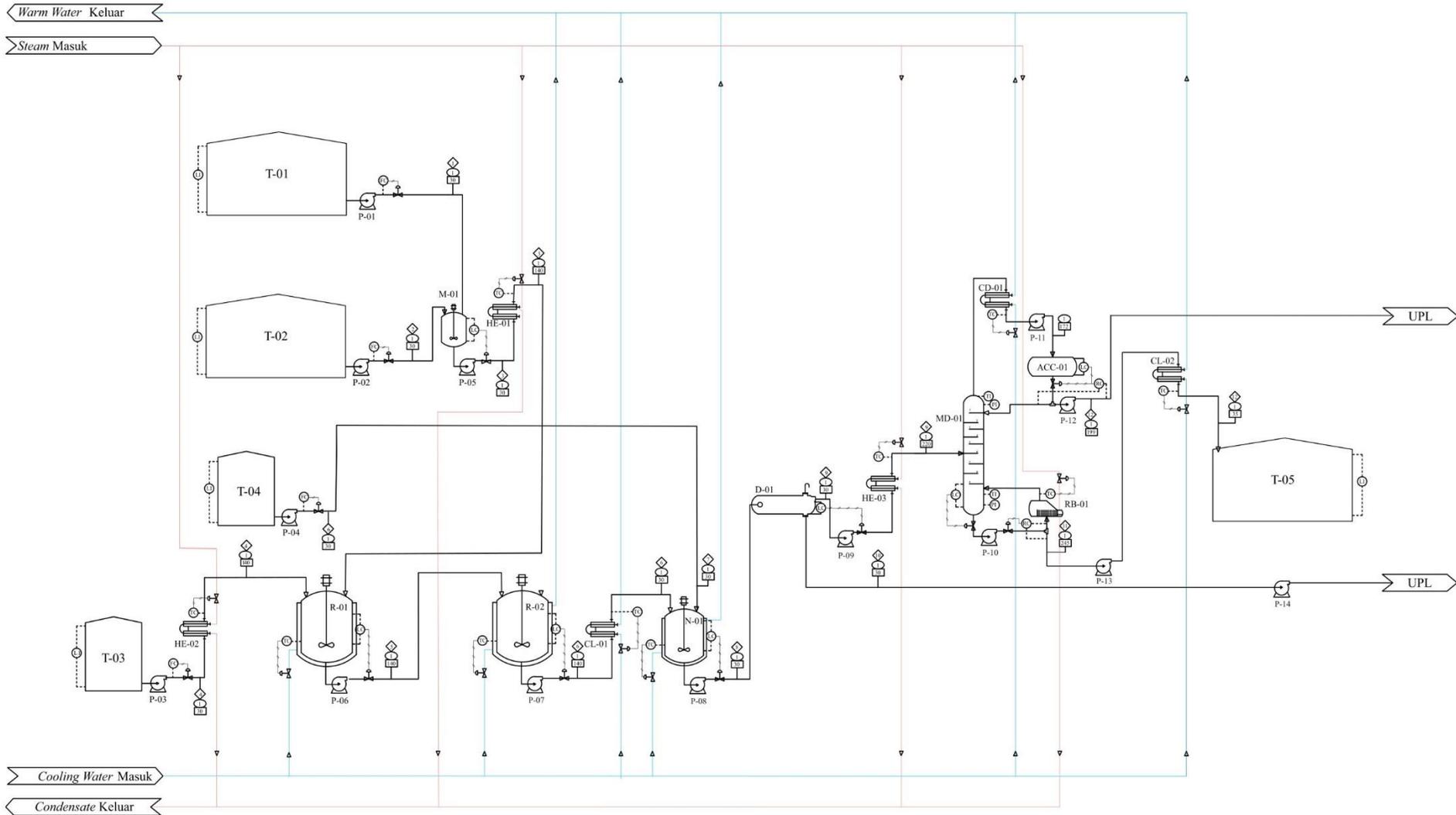
$$U_d = \frac{13,119 \cdot 1000}{13,119 + 1000}$$

$$U_d = 12,942 \text{ Btu/ft. }^\circ\text{F. Jam}$$

LAMPIRAN B

Process Engineering Flow Diagram

Prarancangan Pabrik Novolak Resin dari Fenol dan Formaldehid dengan Kapasitas 14.000 ton/tahun



Komponen	Laju Alir (kg/jam)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C ₆ H ₅ OH	2041,674		2041,674		653,336	441,001		441,001	345,064	95,938	6,901	338,162
C ₆ H ₆	20,623		20,623		20,623	20,623		20,623	17,923	2,700		17,923
CH ₂ O		521,278	521,278		78,192	10,426		10,426		10,426		
H ₂ SO ₄				0,511	0,511							
(C ₆ H ₅ O) _n					1565,573	1805,013		1805,013		8,303	1760,775	35,934
H ₂ O		887,582	887,582	0,010	1153,444	1194,104	0,452	1194,744	1796,710	1194,744		
NaOH							0,417					
Na ₂ SO ₄								0,740		0,740		
Total	2062,296	1480,860	3471,157	0,521	3471,678	3471,678	0,869	3472,547	2159,696	1312,851	1767,677	392,019

Keterangan			
M-01	Mixer	P-01 s.d.P-14	Pompa
R-01 s.d R-02	Reaktor	HE-01 s.d HE-05	Heater
N-01	Neutralizer	CL-01 s.d CL-02	Cooler
D-01	Dekanter	CD-01	Condensator
MD-01	Menara Destilasi	RB-01	Reboler
T-01	Tangki C ₆ H ₅ OH	LI	Level Indicator
T-02	Tangki CH ₂ O	LC	Level Controller
T-03	Tangki H ₂ SO ₄	TC	Temperature Controller
T-04	Tangki NaOH	FC	Flow Controller
T-05	Tangki Produk		

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK NOVOLAK RESIN
DARI FENOL DAN FORMALDEHID DENGAN
KAPASITAS 14.000 TON/TAHUN

Disusun Oleh:
Nama: Sheren Inanisa Shafa (19521164)
Silvi Zuryanzany (19521166)

Dosen Pembimbing: Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T.

LAMPIRAN C

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

1. Nama Mahasiswa : Sheren Isnaina Shafa

No. MHS : 19521164

2. Nama Mahasiswa : Silvi Zunyazizmy

No. MHS : 19521166

Judul Prarancangan *) : **PRARANCANGAN PABRIK NOVOLAK
RESIN DARI FENOL DAN FORMALDEHID DENGAN KAPASITAS
14.000 TON/TAHUN**

Mulai Masa Bimbingan : 10 Oktober 2022

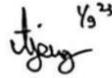
Batas Akhir Bimbingan : 8 April 2023

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	7 October 2022	Estimasi pabrik & pemilihan judul	<i>[Signature]</i>
2.	31 October 2022	Letak lokasi & pemilihan kapasitas	<i>[Signature]</i>
3.	15 November 2022	Pemilihan Kapasitas	<i>[Signature]</i>
4.	15 Desember 2022	Tinjauan lokasi, spesifikasi perancangan produk, desain dan keefektifan	<i>[Signature]</i>
5.	28 Januari 2023	Massa massa	<i>[Signature]</i>
6.	15 Februari 2023	Massa massa & diagram alir keefektifan	<i>[Signature]</i>
7.	20 Maret 2023	Reaktor & Massa panas	<i>[Signature]</i>

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 1 September 2023

Pembimbing,



Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T.

***) Judul PraRancangan Ditulis dengan Huruf Balok**

- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan PraRancangan
- Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

3. Nama Mahasiswa : Sheren Isnaina Shafa

No. MHS : 19521164

4. Nama Mahasiswa : Silvi Zunyazizmy

No. MHS : 19521166

Judul Prarancangan *) : **PRARANCANGAN PABRIK NOVOLAK
RESIN DARI FENOL DAN FORMALDEHID DENGAN KAPASITAS
14.000 TON/TAHUN**

Mulai Masa Bimbingan : 9 April 2023

Batas Akhir Bimbingan : 6 Oktober 2023

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	5 Mei 2023	Alat besar bagian 2 & rencana proses	<i>[Signature]</i>
2.	1 Juni 2023	Alat besar bagian 2 & rencana proses	<i>[Signature]</i>
3.	23 Juni 2023	Alat besar bagian 2, alat penyimpanan & alat pemecah esis	<i>[Signature]</i>
4.	10 Juli 2023	Alat besar bagian 2, lokasi & organisasi perusahaan	<i>[Signature]</i>
5.	3 Agustus 2023	PEM, utilitas & energi	<i>[Signature]</i>
6.	30 Agustus 2023	Utilitas & ekonomi	<i>[Signature]</i>
7.	1 September 2023	keamanan masalah	<i>[Signature]</i>

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 1 September 2023

Pembimbing,



Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T.

***) Judul PraRancangan Ditulis dengan Huruf Balok**

- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan PraRancangan
- Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy