

**PRARANCANGAN PABRIK ALKYD RESIN  
DARI MINYAK KELAPA SAWIT ( $C_{47}H_{88}O_6$ ) DAN GLISEROL ( $C_3H_8O_3$ )  
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN**

**Tugas Khusus**

**Prarancangan Reaktor *Fixed Bed Multitube* (RE – 201)**

**(Skripsi)**

**Oleh:**

**Assya Nauri Des Harahap**

**(1915041008)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2024**

Judul Skripsi

: PRARANCANGAN PABRIK ALKYD RESIN  
DARI MINYAK KELAPA SAWIT ( $C_{47}H_{88}O_6$ )  
DAN GLISEROL ( $C_3H_8O_3$ ) KAPASITAS  
30.000 TON/TAHUN  
(Prarancangan Reaktor *Fixed Bed*  
*Multitube* (RE - 201))

Nama Mahasiswa

: *Assya Nauri Des Harahap*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915041008

Jurusan

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



*[Signature]*  
Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T.  
NIP. 197208252000032001

*[Signature]*  
Yuli Darni, S.T., M.T.  
NIP. 197407122000032001

Ketua Jurusan Teknik Kimia

*[Signature]*  
Yuli Darni, S.T., M.T.  
NIP. 197407122000032001



**MENGESAHKAN**

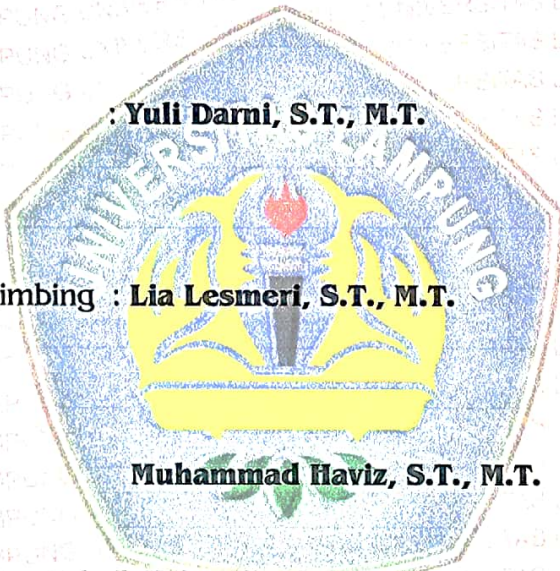
**1. Tim Penguji**

**Ketua : Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T.** .....

**Sekretaris : Yuli Darni, S.T., M.T.** .....

**Penguji  
Bukan Pembimbing : Lia Lesmeri, S.T., M.T.** .....

**Muhammad Haviz, S.T., M.T.** .....



**2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S. T., M. Sc. J**  
NIP. 197509282001121002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Januari 2024**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandarlampung, Januari 2024

  
METERAI  
TEMREL  
9A39DAKX532134750

Assya Nauri Des Harahap

NPM. 1915041008

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandarlampung, pada tanggal 31 Desember 2001 sebagai anak ketiga dari enam bersaudara dari Bapak Asrizal Ananda Harahap dan Ibu Fitri Herawati. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Beringin Raya (Kemiling, Bandar Lampung) pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 14 Bandar Lampung pada tahun 2016, Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 7 Bandar Lampung pada tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur masuk Seleksi Nasional Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjalani masa perkuliahan, Penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEMIA) FT Unila. Pada tahun 2020 – 2021 penulis menjadi Staf Departemen Media Informasi, pada tahun 2021 – 2022 penulis menjabat sebagai Bendahara Umum

HIMATEMIA FT Unila dan pada tahun 2022 – 2023 penulis menjadi Dewan Pembina HIMATEMIA FT Unila.

Dalam kegiatan perkuliahan, penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Buma Cima Nusantara (PT. BCN Bungamayang), Lampung Utara pada tahun 2021 dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja Alat dan Proses Kristalisasi Gula pada *Vacuum Pan A*”. Pada tahun 2022, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Sukabumi, Bandar Lampung Provinsi Lampung. Selain itu, penulis melakukan Penelitian pada Tahun 2022 dengan judul “Penggunaan Pelet Asal Silika MCF (*Mesostructured Celluler Foam*) dan *Bentonite* Sebagai Adsorben untuk Penurunan Kadar Warna *Rhodamine B* Secara Kontinyu”

## *Motto dan Persembahan*

*"Selesaikan apa yang sudah kamu mulai, tanggung jawablah kepada pilihanmu sendiri"*

*(Assya Harahap)*

*"However difficult life may seem, there is always something you can do and succeed at."*

*(Stephen Hawking)*

*"Action is the foundational key to all success."*

*(Pablo Picasso)*

*Allah Subhanahu Wa Ta'ala berfirman:*

*فَتَرَضَىٰ رَبُّكَ يُعْطِيكَ وَأَسْوَفَ*

*wa lasaufa yu'thiika robbuka fa tardhoo*

*"Dan sungguh, kelak Tuhanmu pasti memberikan karunia-Nya kepadamu, sehingga engkau menjadi puas."*

*(QS. Ad-Duha 93: Ayat 5)*

## *Sebuah Karya*

*Kupersembahkan dengan sepenuh hati:*

*Kepada Orang Tuaku, terima kasih atas pengorbanan, perjuangan, jerih payah yang sudah tak terhitung jumlahnya dan terimakasih atas doa, dukungan, motivasi dan kasih sayangnya yang tak terhingga selama ini.*

*Alm. Ayahku dan Almh. Ibuku, terima kasih atas dukungan, motivasi, doa dan semangat yang tak terhitung jumlahnya yang telah diberikan hingga kemarin. Semoga kita ditemukan dan persatukan kembali di SurgaNya.*

*Kakak dan Adikku, terima kasih atas doa, dukungan dan bantuannya selama ini.*

*Teman-Temanku, terima kasih telah menjadi bagian hidupku selama di Jurusan ini. Caritas senang, sedih, terharu yang kita jalani selama ini akan ku simpsn sebagai memori indah selamanya. Semoga kita dapat berjumla kembali dengan kisah kesuksesan kita masing-masing.*

*Civitas Akademisi Jurusan Teknik Kimia Univeritas Lampung, terima kasih atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan selama masa perkuliahan. Semoga Jurusan kita bisa lebih baik lagi kedepannya.*



## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan banyak kenikmatan dan segalanya yang membuat penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Alkyd Resin dari Minyak Kelapa Sawit (CPO) dan Gliserol dengan Kapasitas 30.000 Ton/Tahun” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh derajat kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan moral maupun spiritual dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang Maha Esa dan Maha Pengasih serta yang Maha Pemberi Rezeki.
2. Alm. Ayah dan Almh. Ibu, terimakasih atas segala doa, dukungan dan pesan yang selama ini selalu penulis terima, kesabaran untuk menunggu selesainya kuliah penulis walau Alm dan Almh tidak bisa hadir, kebaikan, ketulusan, dan jasa yang tak akan pernah bisa terbalaskan oleh penulis.

3. Mama, Papa, Kakak – kakak dan Adik – adik atas segala doa yang dipanjatkannya selama ini, kesabaran untuk menunggu selesainya kuliah dan moril yang tak akan pernah bisa terbalaskan oleh penulis
4. Ibu Yuli Darni S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia yang telah memberikan bantuan untuk kelancaran proses belajar selama di kampus.
5. Ibu Panca Nugrahini S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan sarannya selama berada di kampus.
6. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing I atas segala ilmu, kesabaran, saran dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Ibu Yuli Darni S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II atas segala ilmu, kesabaran, saran dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Ibu Lia Lesmeri, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II, atas segala ilmu, saran dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
9. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II, atas segala ilmu, saran dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
10. Seluruh Dosen dan Staff Teknik Kimia yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan membantu kelancaran dalam pengerjaan tugas akhir ini.
11. Terimakasih untuk diri sendiri, karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini. Mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tak pernah memutuskan untuk menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi dan perkuliahan ini. Mampu menyelesaikan sebaik dan semaksimal mungkin, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri.

12. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Shidiq Permana Jati. Terimakasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Berkontribusi banyak dalam penulisan tugas akhir ini, baik tenaga, waktu, pikiran maupun materi kepada penulis. Terimakasih telah menjadi sosok rumah, pendamping dalam segala hal yang menemani, mendukung ataupun menghibur dalam kesedihan, mendengar keluh kesah, dan memberi semangat untuk pantang menyerah dalam mengejar impian. Semoga Allah selalu memberi keberkahan dalam segala hal yang kita lalui.
13. Nikita RM Elyus selaku sahabat terdekat yang selalu memberikan motivasi, dukungan, semangat dan kasih sayang kepada penulis.
14. Nabila Rizqi 'Afifah sebagai partner tugas akhir, penelitian dan teman dekat selama kuliah atas segala rasa sabar dan menjadi teman diskusi yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan perkuliahan.
15. Dhini, Irene, dan Yuwan selaku teman dekat penulis yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan semangat kepada penulis.
16. Sobat LABBERS (Sona, Galuh, Julius, George, Pradif, Rafidim, Faleh, Mutia, Hamdani, dan Niki) atas canda tawa dan susah senang yang dijalani serta motivasi, semangat, bantuan dan dukungannya kepada penulis. Semoga kita dipertemukan kembali dalam keadaan yang lebih baik suatu saat nanti.
17. Teman – teman seperjuangan angkatan 2019, atas bantuan dan dukungannya dalam segala hal yang diberikan kepada penulis.

18. Adik – adik dan kakak – kakak tingkat di Jurusan Teknik Kimia yang banyak memberikan bantuan dan cerita selama di kampus.
19. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Bandarlampung, November 2023

Penulis,

Assya Nauri Des Harahap

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>COVER .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Kegunaan Produk .....	3
1.3 Penentuan Kapasitas Produksi .....	4
1.3.1 Impor Alkyd Resin .....	4
1.3.2 Exspor Alkyd Resin .....	5
1.3.3 Produksi Alkyd Resin di Indonesia .....	7
1.3.4 Kebutuhan Alkyd Resin di Indonesia .....	9
1.4 Prospek Pasar .....	12
1.5 Lokasi Pabrik .....	13
1.5.1 Faktor Primer .....	14
1.5.2 Faktor Sekunder .....	16
1.6 Dasar Rancangan Proses .....	17
<b>BAB II PEMILIHAN BAHAN DAN URAIAN PROSES</b>	
2.1 Metode Alkoholisis .....	18
2.2 Katalis .....	20
2.3 Proses Pendukung .....	21
2.4 Berdasarkan Tinjauan Ekonomi .....	22
2.4.1 Proses Menggunakan Polioli Gliserol .....	22
2.4.2 Proses Menggunakan Polioli Pentaerythritol .....	26
2.5 Berdasarkan Tinjauan Termodinamika .....	29
2.5.1 Perhitungan Panas Reaksi .....	29
2.6 Uraian Proses Pembuatan Alkyd Resin .....	57



2.6.1 Tahap Alkoholisis .....	57
2.6.2 Tahap Esterifikasi.....	58
2.7 Tinjauan Kinetika Reaksi.....	59
<b>BAB III PELAKSANAAN TUGAS KHUSUS</b>	
3.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Penunjang.....	62
3.2 Spesifikasi Produk.....	65
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI</b>	
4.1 Neraca Massa .....	66
4.1.1 Pre-Treatment CPO.....	68
4.1.1.1 Neraca Massa Degumming Tank (DG-201) .....	68
4.1.1.2 Neraca Massa Centrifuge I (CF-201) .....	69
4.1.1.3 Neraca Massa Netralizer Tank (NT-201) .....	70
4.1.1.4 Neraca Massa Dekanter (DC-201) .....	71
4.1.2 Proses Produksi Alkyd Resin.....	72
4.1.2.1 Neraca Massa Reaktor Alkoholisis (RE-201).....	72
4.1.2.3 Neraca Massa Dekanter (DC-202).....	73
4.1.2.4 Neraca Massa Reaktor Esterifikasi (RE-202).....	74
4.1.2.5 Neraca Massa Kolom Adsorben (KA-201).....	75
4.1.2.6 Neraca Massa Kolom Ekstraktor (KE-201).....	76
4.1.2.7 Neraca Massa Rotary Dryer (RD-201) .....	76
4.2 Neraca Energi.....	77
4.2.1 Pre-Treatment Bahan Baku.....	77
4.2.1.1 Neraca Energi Degumming Tank (DG-201).....	78
4.2.1.2 Neraca Energi Centrifuge I (CF-201) .....	79
4.2.1.3 Neraca Energi Netralizer Tank (NT-201) .....	80
4.2.1.4 Neraca Energi Heater (HE-201).....	81
4.2.1.5 Neraca Energi Heater (HE-202).....	82
4.2.2 Proses Pengolahan Alkyd Resin .....	83
4.2.2.1 Neraca Energi Reaktor Alkoholisis (RE-201).....	83
4.2.2.2 Neraca Energi Cooler (CO-201) .....	83
4.2.2.3 Neraca Energi Heater Gliserol Rec (HE-203).....	84
4.2.2.4 Neraca Energi Triglicerida Rec (HE-301).....	84

4.2.2.5 Neraca Energi Melter (ME-201) .....	85
4.2.2.6 Neraca Energi Reaktor Esterifikasi (RE-202).....	85
4.2.2.7 Neraca Energi Cooler (CO-202) .....	86
4.2.2.8 Neraca Energi Heater PA Rec (HE-302) .....	87
4.2.2.9 Neraca Energi Rotary Dryer (RD-201).....	87
4.2.2.10 Neraca Energi Cooler (CO-203) .....	88
4.2.2.11 Neraca Energi Heater Udara (HE-303).....	88

## **BAB V SPESIFIKASI ALAT**

5.1 Peralatan Proses .....	89
5.1.1 <i>Storage Tank</i> CPO (SC-201).....	89
5.1.2 <i>Storage Tank</i> H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (SP-201) .....	90
5.1.3 Degumming Tank (DG-201).....	90
5.1.4 Centrifuge (CF-101).....	91
5.1.5 Storage Tank NaOH (SP – 202).....	92
5.1.6 Netralizer Tank (NT-201) .....	92
5.1.7 Dekanter (DC-101).....	93
5.1.8 Storage Tank Triglicerida (ST – 101) .....	94
5.1.9 Heater Triglicerida (HE – 201) .....	94
5.1.10 Storage Tank Gliserol (ST - 102).....	95
5.1.11 Heater Gliserol (HE – 202) .....	96
5.1.12 Bin PbO (SS – 201).....	97
5.1.13 <i>Screw Conveyor</i> PbO (SC – 201).....	97
5.1.14 <i>Bucket Elevator</i> PbO (BE – 201) .....	98
5.1.15 <i>Hopper</i> PbO (HP – 201).....	99
5.1.16 Reaktor Alkoholisis (RE – 201).....	100
5.1.17 Cooler 1 (CO – 201).....	101
5.1.18 Decanter 1 (DC – 201) .....	102
5.1.19 Heater Gliserol Recycle (HE – 203) .....	103
5.1.20 Heater Triglicerida Recycle (HE – 301).....	103
5.1.21 Bin Phtalic Anhydride (SS -202) .....	104
5.1.22 <i>Screw Conveyor</i> PA (SC – 202).....	105
5.1.23 <i>Bucket Elevator</i> PA (BE – 202) .....	106

5.1.24 <i>Hopper</i> PA (HP – 202).....	106
5.1.25 <i>Melter</i> (ME – 201) .....	107
5.1.26 Reaktor Esterifikasi (RE – 202) .....	108
5.1.27 Cooler 2 (CO – 202).....	109
5.1.28 Kolom Ekstraksi (KE-201).....	110
5.1.29 Heater Phtalic Anhydride Recycle (HE – 302).....	111
5.1.30 Bin Moleccular Sieve Zeolite 3A (SS -203).....	112
5.1.31 <i>Screw Conveyor</i> MSZ 3A (SC – 203).....	113
5.1.32 <i>Bucket Elevator</i> MSZ 3A (BE – 203) .....	113
5.1.33 Kolom Adsorber (KA – 201) .....	114
5.1.34 Blower Udara (BL – 201) .....	115
5.1.35 Heater Udara (HE – 303) .....	115
5.1.36 <i>Screw Conveyor</i> MSZ 3A Recycle (SC – 301).....	116
5.1.37 <i>Rotary Dryer</i> (RD – 201) .....	117
5.1.38 <i>Screw Conveyor</i> MSZ 3A Regenerasi (SC – 302).....	118
5.1.39 Bin MSZ 3A Regenerasi (SS – 204).....	119
5.1.40 Storage Tank Toluena (ST – 301).....	119
5.1.41 Delution Tank (DT – 201) .....	120
5.1.42 Cooler 3 (CO – 203).....	122
5.1.43 Storage Tank Alkyd Resin (ST – 302).....	123
5.1.44 Pompa CPO.....	124
5.1.45 Pompa Degumming Tank (P-103) .....	125
5.1.46 Pompa Degumming Oil (P-201) .....	126
5.1.47 Pompa Netralizer Tank (P-202) .....	127
5.1.48 Pompa Trigliserida 1 (P-203).....	128
5.1.49 Pompa Trigliserida 2 (P-301).....	129
5.1.50 Pompa HE Trigliserida (P-302) .....	130
5.1.51 Pompa Gliserol (P-303) .....	131
5.1.52 Pompa HE Gliserol (P-401) .....	132
5.1.53 Pompa Reaktor Alkoholisis (P-402) .....	133
5.1.54 Pompa Cooler 1 (P-403) .....	134
5.1.55 Pompa Trigliserida Recycle (PR-201) .....	135

5.1.56 Pompa Triglicerida Sisa (PR-202) .....	136
5.1.57 Pompa Gliserol Recycle (RP-101) .....	137
5.1.58 Pompa Heater Gliserol Sisa (PR-102).....	138
5.1.59 Pompa Monogliserida (P-501) .....	139
5.1.60 Pompa Resin (P-502) .....	140
5.1.61 Pompa Cooler 2 (P-503) .....	141
5.1.62 Pompa Monogliserida Sisa (P-203) .....	142
5.1.63 Pompa Heater Phtalic Anhydride (PR-301).....	143
5.1.64 Pompa Phtalic Anhydride Sisa (PR-302).....	144
5.1.65 Pompa Resin 2 (P-601) .....	145
5.1.66 Pompa Resin (P-602) .....	146
5.1.67 Pompa Phtalic Anhydride (P-603) .....	147
5.1.68 Pompa Toluena (P-701) .....	148
5.1.69 Pompa Alkyd Resin (P-702) .....	149
5.1.70 Pompa Produk Alkyd Resin (P-703).....	150
5.2 Peralatan Utilitas .....	152
5.2.1 Bak Sedimentasi (BS – 01) .....	152
5.2.2 Tangki Alum (ST – 401).....	153
5.2.3 Tangki Kaporit (ST – 402).....	154
5.2.4 Tangki Soda Kaustik (ST – 403).....	155
5.2.5 Clarifier (CL – 401).....	155
5.2.6 Sand Filter (SF – 101) .....	156
5.2.7 Tangki Air Filter (FWT – 401) .....	157
5.2.8 Tangki Penyimpanan Air Domestik (DOWT – 401).....	158
5.2.9 Tangki Air Hydrant (HWT – 401) .....	159
5.2.10 Tangki Asam Sulfat (ST – 404) .....	160
5.2.11 Tangki Dispersan (ST-405).....	161
5.2.12 Tangki Inhibitor (ST – 406).....	162
5.2.13 Cooling Tower (CT – 401).....	163
5.2.14 Cation Exchanger (CE – 401).....	164
5.2.15 Anion Exchanger (AE – 401).....	165
5.2.16 Cold Basin (CB – 401).....	166

5.2.17 <i>Hot Basin</i> (HB – 401) .....	166
5.2.18 Demin Water Tank (DWT-401).....	167
5.2.19 Tangki Hydrazine (ST-407) .....	168
5.2.20 Daerator (DE-401) .....	169
5.2.21 Boiler (B-401) .....	170
5.2.22 Tangki Bahan Bakar (ST-408).....	171
5.2.23 Blower Steam (BS-401) .....	172
5.2.24 Air Compressor (AC-401) .....	172
5.2.25 Blower Udara (B-401).....	173
5.2.26 Blower Air Compressor (B-402).....	173
5.2.27 Generator Listrik (GS-401).....	174
5.2.28 Pompa Utilitas 1 (PU-01).....	174
5.2.29 Pompa Utilitas 2 (PU-102).....	175
5.2.30 Pompa Utilitas 3 (PU-103).....	176
5.2.31 Pompa Utilitas 4 (PU-104).....	176
5.2.32 Pompa Utilitas 5 (PU-105).....	177
5.2.33 Pompa Utilitas 6 (PU-106).....	178
5.2.34 Pompa Utilitas 7 (PU-107).....	179
5.2.35 Pompa Utilitas 8 (PU-108).....	179
5.2.36 Pompa Utilitas 9 (PU-109).....	180
5.2.37 Pompa Utilias 10 (PU-110).....	181
5.2.38 Pompa Utilitas 11 (PU-111).....	182
5.2.29 Pompa Utilitas 12 (PU-112).....	183
5.2.40 Pompa Utilitas 13 (PU-201).....	183
5.2.41 Pompa Utilitas 14 (PU-202).....	184
5.2.42 Pompa Utilitas 15 (PU-203).....	185
5.2.43 Pompa Utilitas 16 (PU-204).....	186
5.2.44 Pompa Utilitas 17 (PU-205).....	187
5.2.45 Pompa Utilitas 18 (PU-206).....	187
5.2.46 Pompa Utilitas 19 (PU-207).....	188
5.2.47 Pompa Utilitas 20 (PU-208).....	189
5.2.48 Pompa Utilias 21 (PU-209).....	190



5.2.49 Pompa Utilitas 22 (PU-210).....	191
5.2.50 Pompa Utilitas 23 (PU-211).....	191
5.2.51 Pompa Utilitas 24 (PU-212).....	192
<b>BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH</b>	
6.1 Unit Pendukung Proses .....	194
6.2 Unit Pengolahan Limbah.....	216
6.3 Laboratorium.....	217
6.4 Instrumentasi dan Pengendalian Proses .....	221
<b>BAB VII LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK</b>	
7.1 Lokasi Pabrik .....	224
7.2 Tata Letak Pabrik .....	227
7.3 Estimasi Area Pabrik.....	231
<b>BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN</b>	
8.1 Bentuk Perusahaan .....	234
8.2 Stuktur Organisasi Perusahaan.....	237
8.3 Tugas dan Wewenang .....	240
8.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian .....	251
8.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan .....	252
8.6 Penggolongan Karyawan dan Jumlah Karyawan.....	255
8.7 Kesejahteraan Karyawan.....	261
<b>BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI</b>	
9.1 Investasi .....	265
9.2 Evaluasi Ekonomi .....	270
9.2.1 <i>Return On Investment (ROI)</i> .....	270
9.2.2 <i>Pay Out Time (POT)</i> .....	271
9.2.3 <i>Break Even Point (BEP)</i> .....	272
9.2.4 <i>Shut Down Point (SDP)</i> .....	273
9.2.5 <i>Discounted Cash Flow (DCF)</i> .....	274
<b>BAB X KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
10.1 Kesimpulan .....	276
10.2 Saran.....	277
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

**LAMPIRAN A**

**LAMPIRAN B**

**LAMPIRAN C**

**LAMPIRAN D**

**LAMPIRAN E**

**LAMPIRAN F**

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.1</b> Perkembangan Impor Alkyd Resin Tahun 2017 – 2022 .....	4
<b>Tabel 1.2</b> Perkembangan Ekspor Alkyd Resin Tahun 2017 – 2022 .....	6
<b>Tabel 1.3</b> Produksi Alkyd Resin di Indonesia pada tahun 2022 .....	7
<b>Tabel 1.4</b> Produksi Alkyd Resin di Indonesia pada tahun 2017-2022 .....	8
<b>Tabel 1.5</b> Pabrik Cat di Indonesia Pada Tahun 2022 .....	9
<b>Tabel 1.6</b> Produksi Cat di Indonesia Tahun 2017-2022 .....	10
<b>Tabel 2.1</b> Kondisi Proses Pembuatan Alkyd Resin Metode Alkoholisis .....	21
<b>Tabel 2.2</b> Persen Komposisi Bahan Baku Pembuatan Alkyd Resin .....	22
<b>Tabel 2.3</b> Data harga bahan baku dan produk .....	25
<b>Tabel 2.4.</b> Harga bahan baku untuk membuat 1 kg Alkyd Resin menggunakan Poliol Gliserol .....	25
<b>Tabel 2.5</b> Harga Bahan Baku untuk Membuat 1 Kg Alkyd Resin Menggunakan Poliol Pentaerythritol.....	28
<b>Tabel 2.6</b> Kontribusi Gugus Fungsi untuk Energi Triglicerida .....	31
<b>Tabel 2.7</b> Kontribusi Gugus Fungsi untuk Cp Triglicerida .....	32
<b>Tabel 2.8</b> Kontribusi Gugus Fungsi untuk Energi Phtalic Anhydride .....	33
<b>Tabel 2.9</b> Konstanta untuk Cp Phtalic Anhydride.....	34
<b>Tabel 2.10</b> Nilai $\Delta H^0_f$ dan $\Delta G^0$ pada Air .....	35
<b>Tabel 2.11</b> Konstanta untuk Cp Air .....	35

<b>Tabel 2.12</b> Kontribusi Gugus Fungsi untuk Energi Gliserol.....	36
<b>Tabel 2.13</b> Konstanta untuk $C_p$ Gliserol .....	37
<b>Tabel 2.14.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk energi digliserida .....	37
<b>Tabel 2.15.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk $C_p$ Digliserida.....	38
<b>Tabel 2.16.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk energi monogliserida .....	39
<b>Tabel 2.17.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk $C_p$ monogliserida .....	40
<b>Tabel 2.18.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk energi Alkyd Resin (2 molekul yang sama) .....	42
<b>Tabel 2.19.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk $C_p$ Alkyd Resin .....	42
<b>Tabel 2.20.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk energi Alkyd Resin (1 molekul yang berbeda) .....	44
<b>Tabel 2.22.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk energy pantaerytritol.....	46
<b>Tabel 2.23.</b> Konstanta untuk $C_p$ Pantaerythritol .....	47
<b>Tabel 2.24.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk energy Digliserida .....	47
<b>Tabel 2.25.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk $C_p$ Digliserida .....	48
<b>Tabel 2.26.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk energ Monogliserida.....	49
<b>Tabel 2.27</b> Kontribusi gugus fungsi untuk $C_p$ Monogliserida.....	50
<b>Tabel 2.28.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk energi Alkyd Resin (2 molekul yang sama) .....	52
<b>Tabel 2.29.</b> Kontribusi Gugus Fungsi untuk $C_p$ Alkyd Resin (2 molekul yang sama).....	53
<b>Tabel 2.30.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk energi Alkyd Resin (1 molekul yang berbeda) .....	54

<b>Tabel 2.31.</b> Kontribusi gugus fungsi untuk Cp Alkyd Resin (1 molekul yang berbeda) .....	55
<b>Tabel 2.32</b> Perbandingan Kondisi Operasi Dengan Menggunakan Poliol Gliserol dan Pentaerythritol .....	56
<b>Tabel 4.1.</b> Data BM Komponen .....	67
<b>Tabel 4.2</b> Neraca Massa Degumming Tank .....	68
<b>Tabel 4.3</b> Neraca Massa Centrifuge I.....	69
<b>Tabel 4.4</b> Neraca Massa Netralizer Tank .....	70
<b>Tabel 4.5</b> Neraca Massa Decanter (DC-101) .....	71
<b>Tabel 4.6</b> Data Hasil Perhitungan Neraca Massa RE-201 <i>start up</i> .....	72
<b>Tabel 4.7</b> Data Hasil Perhitungan Neraca Massa RE-201 <i>recycle</i> .....	72
<b>Tabel 4.8.</b> Neraca Massa di Reaktor (RE-201) <i>Steady State</i> .....	73
<b>Tabel 4.9.</b> Neraca Massa Decanter (DC-202) .....	73
<b>Tabel 4.10.</b> Neraca Massa hasil perhitungan di Reaktor Esterifikasi (RE-301) <i>start-up</i> .....	74
<b>Tabel 4.11.</b> Neraca Massa hasil perhitungan di Reaktor Esterifikasi (RE-301) <i>steady</i> <i>state</i> .....	74
<b>Tabel 4.12.</b> Neraca Massa Kolom Adsorber (KA-201).....	75
<b>Tabel 4.13.</b> Neraca Massa Kolom Ekstraktor (KE-201) .....	76
<b>Tabel 4.14.</b> Neraca Massa Rotary Dryer (RD-201) .....	76
<b>Tabel 4.16</b> Neraca Energi Degumming Tank.....	78
<b>Tabel 4.17</b> Neraca Energi Centrifuge I .....	79
<b>Tabel 4.18</b> Neraca Energi Netralizer Tank.....	80



<b>Tabel 4.19.</b> Neraca Energi di Heater (HE-201).....	81
<b>Tabel 4.20.</b> Neraca Energi di Heater (HE-202).....	82
<b>Tabel 4.21.</b> Neraca Energi di Reaktor Alkoholisis (RE-201) .....	83
<b>Tabel 4.22.</b> Neraca Energi di Cooler 1 (CO-201) .....	83
<b>Tabel 4.23.</b> Neraca Energi di Heater (HE-203).....	84
<b>Tabel 4.24.</b> Neraca Energi di Heater (HE-301).....	84
<b>Tabel 4.25.</b> Neraca Energi di Melter (ME-201).....	85
<b>Tabel 4.26.</b> Neraca Energi di Reaktor Esterifikasi (RE-202).....	85
<b>Tabel 4.27.</b> Neraca Energi di Cooler (CO-202) .....	86
<b>Tabel 4.28.</b> Neraca Energi di Heater (HE-302).....	87
<b>Tabel 4.29.</b> Neraca Energi Rotary Dryer (RD-301).....	87
<b>Tabel 4.30.</b> Neraca Energi di Cooler (CO-203) .....	88
<b>Tabel 4.31.</b> Neraca Energi di Heater (HE-201).....	88
<b>Tabel 5.1</b> Spesifikasi Storage Tank CPO (SC-201).....	89
<b>Tabel 5.2</b> Spesifikasi Storage H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (SP-201).....	90
<b>Tabel 5.3</b> Spesifikasi Degumming Tank (DG-201) .....	90
<b>Tabel 5.4</b> Spesifikasi <i>Centrifuge</i> (CF-101) .....	91
<b>Tabel 5.4</b> Spesifikasi Storage NaOH (SP-202) .....	92
<b>Tabel 5.5</b> Spesifikasi Netralizer Tank (NT-201).....	92
<b>Tabel 5.6</b> Spesifikasi Dekanter (DC-101).....	93
<b>Tabel 5.6</b> Spesifikasi Storage Triglicerida (ST-101).....	94
<b>Tabel 5.7</b> Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-201).....	94
<b>Tabel 5.8</b> Spesifikasi Storage Gliserol (ST-102) .....	95

<b>Tabel 5.9</b> Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-202).....	96
<b>Tabel 5.10</b> Spesifikasi Bin PbO (SS-201).....	97
<b>Tabel 5.11</b> Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-201).....	97
<b>Tabel 5.12</b> Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-201) .....	98
<b>Tabel 5.13</b> Spesifikasi <i>Hopper</i> (HP-201).....	99
<b>Tabel 5.14</b> Spesifikasi Reaktor Alkoholisis (RE-201).....	100
<b>Tabel 5.15</b> Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-201).....	101
<b>Tabel 5.16</b> Spesifikasi Dekanter (DE-201) .....	102
<b>Tabel 5.17</b> Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-201).....	103
<b>Tabel 5.18</b> Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-301).....	103
<b>Tabel 5.19</b> Spesifikasi Bin Phtalic Anhydride (SS-202).....	104
<b>Tabel 5.20</b> Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-202).....	105
<b>Tabel 5.21</b> Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-202) .....	106
<b>Tabel 5.22</b> Spesifikasi <i>Hopper</i> (HP-202).....	106
<b>Tabel 5.24.</b> Spesifikasi Reaktor Esterifikasi (RE-202) .....	108
<b>Tabel 5.25.</b> Spesifikasi Cooler (CO-202).....	109
<b>Tabel 5.26</b> Spesifikasi Kolom Ektraktor (KE-201).....	110
<b>Tabel 5.27</b> Spesifikasi Heater (HE-302) .....	111
<b>Tabel 5.28.</b> Spesifikasi Bin MSZ 3A (SS-203).....	112
<b>Tabel 5.29.</b> Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-203) .....	113
<b>Tabel 5.30</b> Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-203) .....	113
<b>Tabel 5.31.</b> Kolom Adsorber.....	114
<b>Tabel 5.32</b> spesifikasi Blower 301 (BL-301).....	115

<b>Tabel 5.33.</b> Spesifikasi Heater (HE-303) .....	115
<b>Tabel 5.34.</b> Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-301) .....	116
<b>Tabel 5.35.</b> Spesifikasi <i>Rotary Dryer</i> (RD-301) .....	117
<b>Tabel 5.36</b> Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-302) .....	118
<b>Tabel 5.37</b> Spesifikasi Bin MSZ 3A (SS-204) .....	119
<b>Tabel 5.38.</b> Spesifikasi Toluena (ST-301) .....	119
<b>Tabel 5.39.</b> Spesifikasi Delution Tank (DT-101) .....	120
<b>Tabel 5.40.</b> Spesifikasi Cooler (CO-203) .....	122
<b>Tabel 5.41.</b> Spesifikasi Alkyd Resin (ST-302) .....	123
<b>Tabel 5.42.</b> Spesifikasi Pompa CPO (P-101) .....	124
<b>Tabel 5.43.</b> Spesifikasi Pompa DG tank (P-103) .....	125
<b>Tabel 5.44.</b> Spesifikasi Pompa DG oil (P-201) .....	126
<b>Tabel 5.45.</b> Spesifikasi NT (P-202) .....	127
<b>Tabel 5.46.</b> Spesifikasi Pompa Trigli 1 (P-203) .....	128
<b>Tabel 5.47.</b> Spesifikasi Pompa Trigli 2 (P-301) .....	129
<b>Tabel 5.48.</b> Spesifikasi Pompa HE Triglicerida (P-302) .....	130
<b>Tabel 5.49.</b> Spesifikasi Pompa Gliserol (P-303) .....	131
<b>Tabel 5.50.</b> Spesifikasi Pompa HE Gliserol (P-401) .....	132
<b>Tabel 5.50.</b> Spesifikasi Pompa RE 1 (P-402) .....	133
<b>Tabel 5.52.</b> Spesifikasi Pompa Cooler 1 (P-102) .....	134
<b>Tabel 5.53</b> Spesifikasi Pompa Triglicerida recycle (PR-201) .....	135
<b>Tabel 5.54.</b> Spesifikasi Pompa Triglicerida sisa (PR-202) .....	136
<b>Tabel 5.55</b> Spesifikasi Pompa Gliserol Recycle (PR-101) .....	137

<b>Tabel 5.56.</b> Spesifikasi Pompa HE Gliserol Sisa (PR-102) .....	138
<b>Tabel 5.57.</b> Spesifikasi Pompa Monogliserida (P-501).....	139
<b>Tabel 5.58..</b> Spesifikasi Pompa Resin (P-502) .....	140
<b>Tabel 5.59.</b> Spesifikasi Pompa Cooler 2 (P-503).....	141
<b>Tabel 5.60.</b> Spesifikasi Pompa Monogliserida Sisa (P-203).....	142
<b>Tabel 5.61.</b> Spesifikasi Pompa HE PA Sisa (PR-301) .....	143
<b>Tabel 5.62.</b> Spesifikasi Pompa PA Sisa (PR-302) .....	144
<b>Tabel 5.63.</b> Spesifikasi Pompa Resin 2 (P-601) .....	145
<b>Tabel 5.64.</b> Spesifikasi Pompa Resin (P-602) .....	146
<b>Tabel 5.65.</b> Spesifikasi Pompa PA (P-603) .....	147
<b>Tabel 5.66.</b> Spesifikasi Pompa Toluena (P-701) .....	148
<b>Tabel 5.67.</b> Spesifikasi Pompa Alkyd Resin (P-702) .....	149
<b>Tabel 5.68.</b> Spesifikasi Pompa Produk Alkyd Resin (P-703) .....	150
<b>Tabel 5.69</b> Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS – 401).....	152
<b>Tabel 5.70</b> Spesifikasi Tangki Alum (ST – 401) .....	153
<b>Tabel 5.71</b> Spesifikasi Tangki Kaporit (ST – 402) .....	154
<b>Tabel 5.72</b> Spesifikasi Tangki Soda Kaostik (ST – 403) .....	155
<b>Tabel 5.73</b> Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL – 401) .....	155
<b>Tabel 5.74</b> Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF – 401) .....	156
<b>Tabel 5.75</b> Spesifikasi Tangki Air Filter (FWT – 401) .....	157
<b>Tabel 5.76</b> Spesifikasi <i>Domestic Water Tank</i> (DOWT – 401) .....	158
<b>Tabel 5.77</b> Spesifikasi <i>Hydrant Water Tank</i> (HWT – 401) .....	159
<b>Tabel 5.78</b> Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST – 404) .....	160

<b>Tabel 5.79</b> Spesifikasi Tangki Dispersan (ST – 405).....	161
<b>Tabel 5.80</b> Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST – 406) .....	162
<b>Tabel 5.81</b> Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT – 401) .....	163
<b>Tabel 5.82</b> Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE – 401) .....	164
<b>Tabel 5.83</b> Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (CE-401) .....	165
<b>Tabel 5.89</b> Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB – 401) .....	166
<b>Tabel 5.90</b> Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB – 401) .....	166
<b>Tabel 5.91</b> Spesifikasi Demin Water Tank (DWT-401) .....	167
<b>Tabel 5.92</b> Spesifikasi Tangki Hydrazine (ST-407) .....	168
<b>Tabel 5.93</b> Spesifikasi Daerator (DE-401).....	169
<b>Tabel 5.94.</b> Spesifikasi Boiler (BO – 401).....	170
<b>Tabel 5.95.</b> Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-408) .....	171
<b>Tabel 5.96.</b> Spesifikasi Blower Steam (BS-401) .....	172
<b>Tabel 5.99.</b> Spesifikasi Air Compressor (AC-401) .....	172
<b>Tabel 5.100.</b> Spesifikasi Blower Udara 4 (B-401).....	173
<b>Tabel 5.101.</b> Spesifikasi Blower Udara 4 (B-401).....	173
<b>Tabel 5.102.</b> Spesifikasi Generator Listrik (GS-401) .....	174
<b>Tabel 5.103.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 1 (PU-401) .....	174
<b>Tabel 5.106.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 2 (PU-102).....	175
<b>Tabel 5.107.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 3 (PU-103) .....	176
<b>Tabel 5.108.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 4 (PU-104) .....	176
<b>Tabel 5.109.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 5 (PU-105) .....	177
<b>Tabel 5.110.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 6 (PU-106).....	178

<b>Tabel 5.111.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 7 (PU-107) .....	179
<b>Tabel 5.112.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 8 (PU-108) .....	179
<b>Tabel 5.113.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 9 (PU-109) .....	180
<b>Tabel 5.114.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 10 (PU-110) .....	181
<b>Tabel 5.115.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 11 (PU-111) .....	182
<b>Tabel 5.116.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 12 (PU-112) .....	183
<b>Tabel 5.117.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 13 (PU-201) .....	183
<b>Tabel 5.118.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 14 (PU-202) .....	184
<b>Tabel 5.119.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 15 (PU-203) .....	185
<b>Tabel 5.120.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 16 (PU-204) .....	186
<b>Tabel 5.121.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 17 (PU-205) .....	187
<b>Tabel 5.122.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 18 (PU-206) .....	187
<b>Tabel 5.123.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 19 (PU-207) .....	188
<b>Tabel 5.124.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 20 (PU-208) .....	189
<b>Tabel 5.125.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 21 (PU-209) .....	190
<b>Tabel 5.126.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 22 (PU-210) .....	191
<b>Tabel 5.127.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 12 (PU-211) .....	191
<b>Tabel 5.128.</b> Spesifikasi Pompa Utilitas 24 (PU-212) .....	192

<b>Tabel 6.1.</b> Kebutuhan Air Umum.....	197
<b>Tabel 6.2.</b> Peralatan yang Membutuhkan <i>Steam</i> .....	198
<b>Tabel 6.3.</b> Kebutuhan Air Pendingin.....	202
<b>Tabel 6.4.</b> Kebutuhan Air Proses.....	205
<b>Tabel 6.5.</b> Kebutuhan Air Total.....	206
<b>Tabel 6.6.</b> Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian. ....	222
<b>Tabel.7.1.</b> Perincian Luas Area Pabrik Alkyd Resin.....	231
<b>Tabel 8.1.</b> Jadwal Kerja Masing - Masing Regu .....	254
<b>Tabel 8.2.</b> Perincian Tingkat Pendidikan .....	255
<b>Tabel 8.3.</b> Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses.....	257
<b>Tabel 8.4.</b> Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas .....	258
<b>Tabel 8.5.</b> Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	259
<b>Tabel 9.1.</b> <i>Fixed Capital Investment</i> .....	266
<b>Tabel 9.2.</b> <i>Manufacturing Cost</i> .....	268
<b>Tabel 9.3.</b> <i>General Expenses</i> .....	269
<b>Tabel 9.4</b> <i>Minimum Acceptable Percent Return of Investment</i> .....	270
<b>Tabel 9.5</b> <i>Minimum Acceptable Pay Out Time</i> .....	272
<b>Tabel 9.6.</b> Hasil Analisa Kelayakan Ekonomi.....	275

**DAFTAR GAMBAR**

<b>Gambar 1.1</b> Grafik Impor Alkyd Resin di Indonesia .....	5
<b>Gambar 1.2</b> Grafik Ekspor Alkyd Resin di Indonesia.....	6
<b>Gambar 1.3</b> Grafik Produksi Alkyd Resin di Indonesia.....	8
<b>Gambar 1.4</b> Grafik Produksi Cat Sebagai Kebutuhan Alkyd Resin.....	11
<b>Gambar 2.1</b> Struktur Kimia Trigliserida .....	31
<b>Gambar 2.2</b> Struktur Kimia Phtalic Anhydride .....	33
<b>Gambar 2.3</b> Struktur Kimia Air .....	34
<b>Gambar 2.4</b> Struktur Kimia Gliserol .....	36
<b>Gambar 2.5</b> Struktur Kimia Pentaerythritol .....	46
<b>Gambar 2.6</b> Diagram Alir Proses Produksi Alkyd Resin dari CPO .....	59
<b>Gambar 6.1</b> <i>Daerator</i> .....	200
<b>Gambar 6.2</b> Diagram <i>Cooling Water System</i> .....	205
<b>Gambar 7.1</b> Peta Kawasan Industri Gresik.....	232
<b>Gambar 7.2</b> Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung.....	233
<b>Gambar 8.1</b> Struktur Organisasi Perusahaan.....	239
<b>Gambar 9.1</b> Analisa Ekonomi Pabrik Alkyd Resin .....	273
<b>Gambar 9.2</b> Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i> terhadap Umur Pabrik .....	274



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah negara tropis dengan sumber daya alam yang melimpah dan tanah subur yang mendukung kehidupan berbagai macam tanaman. Selain itu, Indonesia juga merupakan negara agraris yang dikenal sebagai penghasil bahan mentah seperti minyak kelapa, minyak sawit, minyak kedelai, dan minyak biji rami. Sebagai negara produsen utama minyak kelapa sawit di dunia, di Indonesia minyak kelapa sawit masih belum dimanfaatkan secara maksimal padahal penggunaan minyak sawit dapat memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi jika diolah terlebih dahulu menjadi bahan yang lebih unggul dan memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi, namun pemerintah biasanya masih lebih memilih untuk mengeksplorasi bahan baku ini karena nilai ekonomi yang dihasilkan masih relatif rendah.

Minyak-minyak tersebut, khususnya minyak sawit, dapat diperoleh terus-menerus karena berasal dari sumber alam yang dapat diperbaharui. Produksi polialkid merupakan salah satu aplikasi asam lemak dari minyak sawit. Bahan yang digunakan dalam kepentingan manusia salah satunya

adalah polimer. Dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, plastik semakin banyak digunakan baik itu sintetis atau alami, sebagian besar bahan yang digunakan orang terbuat dari polimer.

Resin digunakan dalam produksi cat, yang merupakan salah satu aplikasi dalam pemanfaatannya. Penggunaan resin sintetis ini menyebabkan cat yang diperoleh tahan terhadap pengaruh iklim karena sifat lapisan cat yang elastis (tidak rapuh dan mudah rusak). Resin alkyd, yang telah diubah dari minyak nabati atau hewani, adalah salah satu jenis resin sintetis. Karena jumlah asam lemak tak jenuh yang berbeda di setiap minyak nabati, minyak nabati yang digunakan untuk membuat resin alkyd berdampak pada warnanya.

Berzelius menciptakan poliester untuk pertama kalinya pada tahun 1874 menggunakan gliserol dan asam tartarat. W. Smith menciptakan polimer gliserol-phthalic anhydride pada tahun 1901. Pada tahun 1921 General Electric membuat polimer gliserol - phthalic anhydride - asam lemak, dan produk ini digunakan dalam industri listrik. Minyak biji rami sering digunakan sebagai bahan pengikat untuk pengecatan bangunan pada tahun 1930-an. Sedangkan alkyd di sisi lain, mulai berkembang dan mampu memberikan waktu pengeringan lebih cepat, tidak menguning (non-yellowing), dan menawarkan perlindungan yang lebih baik. Alkyd menggantikan selulosa sebagai perekat pelapis primer pada 1950-an. Cat berbahan dasar air (resin polivinil atau emulsi) dengan sedikit atau tanpa

kandungan alkid juga digunakan sebagai pengikat pada tahun 1950-an. Selain itu, cat ini mendominasi pasar arsitektur pada 1950-an, 1960-an, dan 1970-an. Meskipun demikian, ada banyak aplikasi yang berbeda untuk alkid di berbagai industri, seperti pelapis khusus dan tinta.

*Polyols, polybasic acids* dan *fatty acids* atau *triglyceride oil* (minyak nabati) adalah tiga monomer yang dipolimerisasi kondensasi untuk membentuk resin alkid. Ada beberapa macam minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan alkyd resin, antara lain: *Linseed oil* (minyak biji rami), *safflower oil*, *menhaden oil*, *castor oil* (minyak jarak), *soybean oil* (minyak kacang kedelai), *coconut oil* (minyak biji kelapa), *sunflower oil* (minyak bunga matahari), *palm kernel oil* (minyak biji kelapa sawit), *Crude Palm Oil* (CPO) dll. Minyak – minyak tersebut adalah ester gliserol di mana gugus hidroksil berinteraksi dengan asam lemak untuk membentuk minyak. Asam ini biasanya memiliki 18 atom karbon di dalamnya. Trigliserida, juga dikenal sebagai triganda ester.

## 1.2 Kegunaan Produk

Cat, pelapis, porselen, pernis, dempul, tinta, lilin, perekat, elastomer, pembentuk film, dan industri lainnya menggunakan resin alkid, produk polimer, secara ekstensif. Hal ini dikarenakan sifat-sifatnya yang unggul sebagai pelapis permukaan yang meliputi kelenturan, kekuatan dan daya tahan, serta sifat daya rekat yang baik. Pada pelapisan, resin alkyd mengeras dan melekat pada objek yang dilapisi. Resin alkyd adalah

pengikat fleksibel yang banyak digunakan di banyak industri, termasuk arsitektur dan industri. Resin alkyd juga dapat digunakan sebagai plasticizer pada resin termoplastik yang rapuh (Sandler, 1994).

### 1.3 Penentuan Kapasitas Produksi

#### 1.3.1 Impor Alkyd Resin

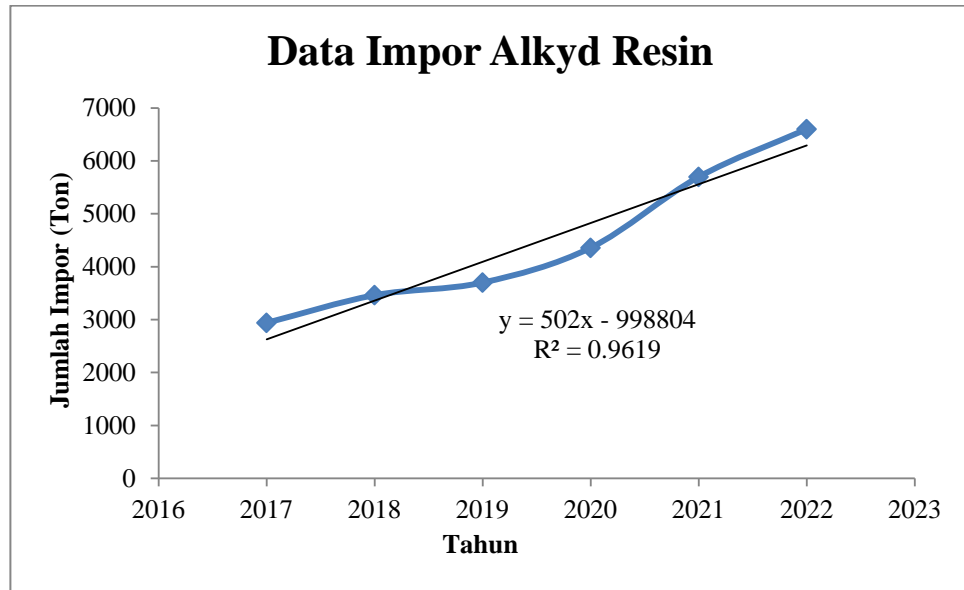
Kebutuhan alkyd resin di dalam negeri masih belum terpenuhi, ditinjau dari nilai impor produk alkyd resin di Indonesia. Alkyd resin diklasifikasikan dalam kode HS yaitu HS. 39075010. Berdasarkan sumber dari data Badan Pusat Statistik dan Kementerian Perindustrian, pada tahun 2017 sampai 2022 impor alkyd resin mengalami kenaikan. Data impor alkyd resin dari tahun 2017 sampai 2022 dapat dilihat pada Tabel 1.1.

**Tabel 1.1 Perkembangan Impor Alkyd Resin Tahun 2017 – 2022**

Tahun	Volume (Ton)	% Perkembangan
2017	2.938,70	-
2018	3.460,83	5,22
2019	3.698,83	2,38
2020	4.356,95	6,58
2021	5.695,26	13,38
2022	6.598,79	9,03

Sumber: bps.go.id

Dari data impor yang ada dibuat regresi linier dan menghasilkan grafik pada Gambar 1.1 sebagai berikut:



**Gambar 1.1** Grafik Impor Alkyd Resin di Indonesia

Dari grafik diatas memenuhi rumus linier yaitu  $y = ax - b$ , sehingga

$$\begin{aligned}
 \text{Impor (y)} &= (502 \text{ x}) - 998804 \\
 &= (502 \text{ x } 2028) - 998804 \\
 &= 19.252,00 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

### 1.3.2 Ekspor Alkyd Resin

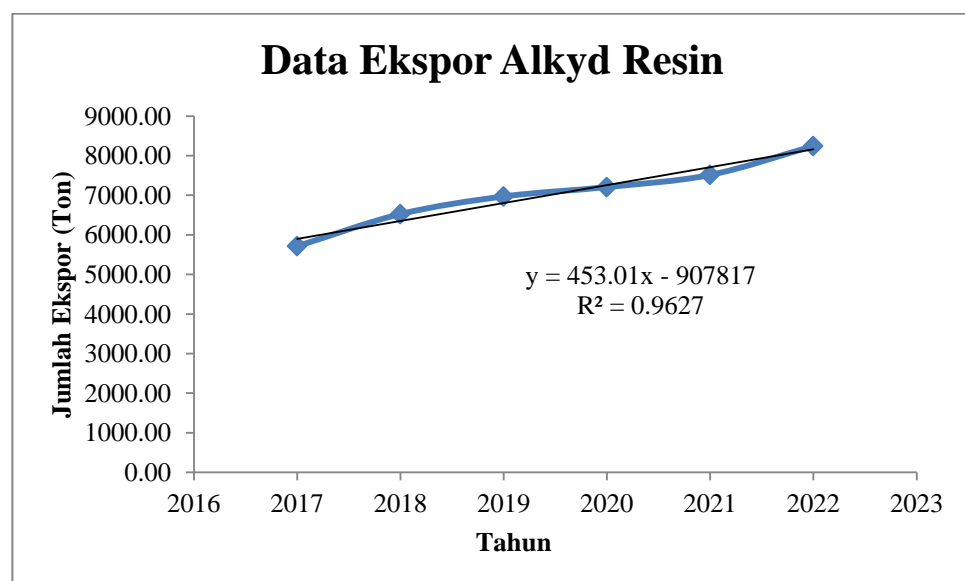
Meski belum terlalu banyak, alkyd resin yang di produksi oleh Indonesia di ekspor ke berbagai negara. Alkyd resin diklasifikasikan dalam kode HS yaitu HS. 39075010. Berdasarkan sumber dari data Badan Pusat Statistik dan Kementerian Perindustrian, pada tahun 2017 sampai 2022 ekspor alkyd resin mengalami kenaikan. Data ekspor alkyd resin dari tahun 2017 sampai 2022 dapat dilihat pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2 Perkembangan Ekspor Alkyd Resin Tahun 2017 – 2022**

Tahun	Volume (Ton)	% Perkembangan
2017	5.712,33	-
2018	6.523,58	8,11
2019	6.969,50	4,45
2020	7.206,30	2,36
2021	7.513,35	3,07
2022	8.242,15	7,28

Sumber: bps.go.id

Dari data impor yang ada dibuat regresi linier dan menghasilkan grafik pada Gambar 1.2 sebagai berikut:

**Gambar 1.2** Grafik Ekspor Alkyd Resin di Indonesia

Dari grafik diatas memenuhi rumus linier yaitu  $y = ax - b$ , sehingga

$$\begin{aligned}
 \text{Ekspor (y)} &= (453,01 x) - 907817 \\
 &= (453,01 x 2028) - 907817 \\
 &= 10.887,28 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

### 1.3.3 Produksi Alkyd Resin di Indonesia

Tercatat bahwa terdapat beberapa perusahaan yang memproduksi alkyd resin di Indonesia. Daftar pabrik alkyd resin yang ada di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.3 berikut:

**Tabel 1.3 Produksi Alkyd Resin di Indonesia pada tahun 2022**

<b>Nama Perusahaan</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)</b>
PT. Eternal Buana Chemical	Jawa Timur	30.000
PT. Akzo Nobel Raung Resins	Surabaya	10.000
PT. Pardic Jaya Chemicals	Tangerang	20.000
PT. Tunas Sumber Idea Kreasi	Serang	20.000
PT. Indonesia Kansai Perkasa	Tangerang	10.000
PT. Warna Agung	Tangerang	8.500
PT. Golden Bridge Chemicals	Sidoarjo	5.000
PT. MCNS Polyurethenas Indonesia	Banten	12.500
PT. Inawan Chemtex Indonesia	Jawa Barat	5.000
PT. Dong Sung Jakarta	Banten	1.000
PT. Citra Resin Industri	Serang	7.500
PT. Eterindo Nusa Graha	Gresik	20.000
PT. Propan Jaya	Jakarta	4.200
PT. ICI	Jakarta	500
PT. United Transocean	Jakarta	5.000
<b>Total</b>		<b>155.000</b>

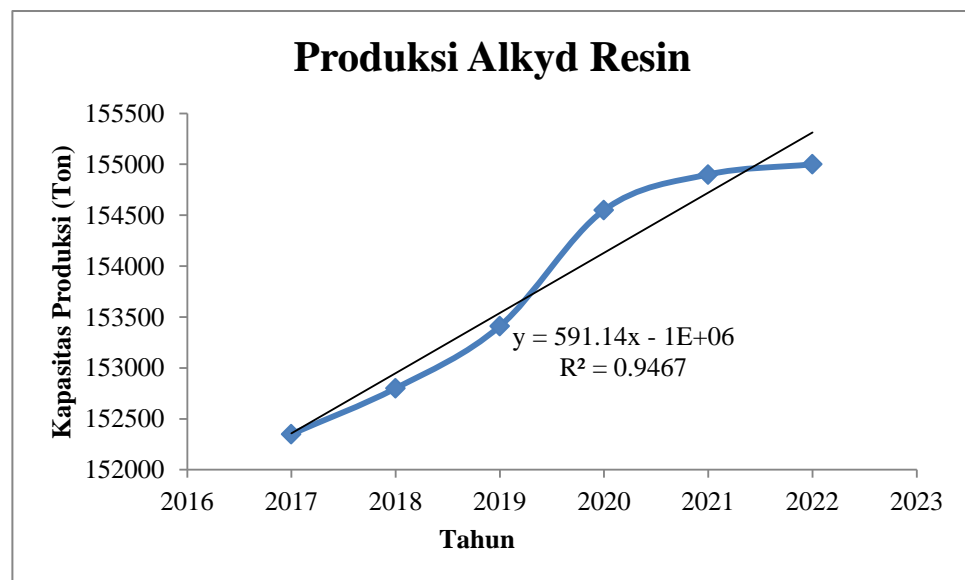
Sumber: Data Kemenperin

**Tabel 1.4 Produksi Alkyd Resin di Indonesia pada tahun 2017-2022**

Tahun	Kapasitas (Ton)
2022	155.000
2021	154.900
2020	154.550
2019	153.410
2018	152.800
2017	152.350

Sumber: Data Kemenperin

Dari data produksi alkyd resin diatas, dapat dibuat regresi linier dan didapatkan grafik pada Gambar 1.3 berikut:

**Gambar 1.3** Grafik Produksi Alkyd Resin di Indonesia

Dari grafik diatas memenuhi rumus linier yaitu  $y = ax - b$ , sehingga

$$\begin{aligned}
 \text{Produksi Alkyd Resin (y)} &= (591,14 x) - 1.000.000 \\
 &= (591,14 x 2028) - 1.000.000 \\
 &= 198.831,92 \text{ ton}
 \end{aligned}$$



### 1.3.4 Kebutuhan Alkyd Resin di Indonesia

Alkyd resin merupakan salah satu bahan baku yang digunakan dalam industri cat, tinta dan perekat. Berikut ini merupakan kapasitas produksi pabrik cat di Indonesia:

**Tabel 1.5 Pabrik Cat di Indonesia Pada Tahun 2022**

<b>Nama Perusahaan</b>	<b>Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)</b>
PT. Dana Paint Indonesia	46.500
PT. Akzo Nobel Car Refinish	2.500
PT. Atlantic Ocean Paint	26.500
PT. Avi Avian	147.000
PT. Bina Adidaya	5.500
PT. Chugoku Paint Indoensia	5.000
PT. Futanlux Chemitraco	12.000
PT. ICI Paint Indonesia	200.000
PT. Isamu Raya	15.000
PT. Jotun Indonesia	100.000
PT. Mataram Paint Co Ltd	5.100
Mowilex CV	10.000
PT. Nipsea Paint and Chemicals	250.000
PT. Pasicic Dwiyasa Putra	70.000
PT. Pan Ocean Paint	10.000
PT. Propan Raya Industri	200.000
PT. Sarana Warna Megah	10.000
PT. Sigma Utama	6.000
PT. Sinar Madu Wangi	8.000
PT. Gunung Segara Buana	500
PT. Axalta	5.500

<b>Nama Perusahaan</b>	<b>Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)</b>
PT. Beckers	70
PT. Bintang Cemikal Indonesia	6.000
PT. Central Megahtama	250
PT. Choil Global Indonesia	270
PT. Ciwipoint Global Indonesia	115
PT. Fanos Asia	600
PT. Fujikura Kasei Indonesia	100
PT. Gyung Do Indonesia	2.000
PT. Indaco Waina Dunia	34.000
PT. Indowira Putra	4.500
PT. Inti Daya Guna Aneka Warna	18.500
PT. Kansai Paint Indonesia	14.400
PT. Multipro Paint	1.800
PT. Nipon Paint	250.000
PT. Penta Ocean	8.000
<b>Total</b>	<b>1.475.705</b>

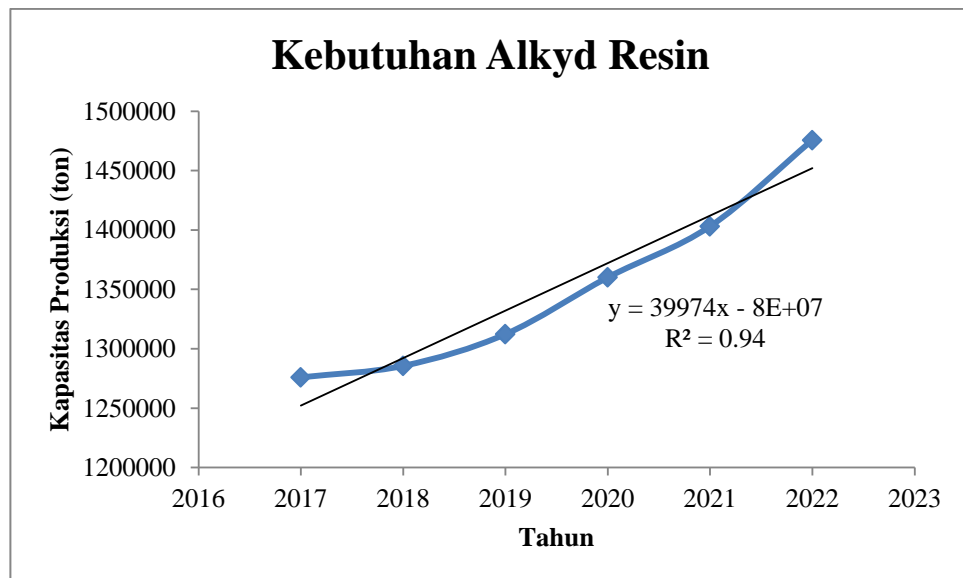
Sumber: Data Kemenperin

**Tabel 1.6 Produksi Cat di Indonesia Tahun 2017-2022**

<b>Tahun</b>	<b>Kapasitas (Ton)</b>
2017	1.275.950
2018	1.285.600
2019	1.312.300
2020	1.360.100
2021	1.403.100
2022	1.475.705

Sumber: Data Kemenperin

Dari data produksi cat diatas, dapat dibuat regresi linier dan didapatkan grafik pada Gambar 1.4 berikut:



**Gambar 1.4** Grafik Produksi Cat Sebagai Kebutuhan Alkyd Resin

Kebutuhan alkyd resin dalam industri cat sebesar 25% dari total produksi cat (Aidha dan Jati 2017) sehingga jumlah alkyd resin yang dibutuhkan sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Produksi Cat (y)} &= (39974 x) - 80.000.000 \\
 &= (39974 x 2028) - 80.000.000 \\
 &= 1.067.272,00 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan alkyd resin} &= 25 \% \text{ produksi cat} \\
 &= 25 \% (1.067.272,00 \text{ ton}) \\
 &= 266.818,00 \text{ ton/Tahun}
 \end{aligned}$$

#### 1.4 Prospek Pasar

Alkyd resin merupakan bahan pengikat serbaguna, yang secara luas digunakan untuk pelapisan cat pada bidang arsitektural, industri dan kegunaan khusus lainnya. Alkyd resin juga digunakan sebagai bahan pengikat tinta (ink binder) serta penggunaan lainnya seperti: pendepul, perekat dan aditif. Kegunaan alkyd resin tersebut lah yang menjadikan alkyd resin sebagai bahan baku yang banyak dibutuhkan oleh berbagai industri terutama industri cat. Pabrik ini direncanakan berdiri dan beroperasi pada tahun 2028.

Persamaan kapasitas produksi adalah sebagai berikut:

$$PK = (DK + DE) - (DP + DI)$$

Dimana:

PK = Peluang Kapasitas Pada Tahun X

DK = Data Konsumsi Alkyd Resin untuk Produksi Cat Pada Tahun X

DI = Data Impor Alkyd Resin Pada Tahun X

DE = Data Ekspor Alkyd Resin Pada Tahun X

DP = Data Produksi Alkyd Resin Pada Tahun X

Drgn menggunakan rumus di atas, maka didapatkan kapasitas alkyd resin sebagai berikut:

$$\text{Peluang 2028} = (266.818,00 \text{ Ton} + 10.887,28 \text{ Ton}) - (198.831,92 \text{ Ton} + 19.252,00 \text{ Ton})$$

= 59.621,36 Ton

= **60.000,00 Ton**

Setelah mengolah data – data diatas maka direncanakan pendirian pabrik alkyd resin tahun 2028 dengan kapasitas 50 % dari peluang pasar (UU RI No. 5 Tahun 1999 Bab IV Pasal 17 Tentang Kegiatan Yang Dilarang Monopoli) yaitu sebesar **30.000 ton/tahun**.

### **1.5 Lokasi Pabrik**

Penentuan lokasi pabrik sangat penting pada suatu perancangan karena akan berpengaruh secara langsung terhadap keberlangsungan hidup pabrik. Banyak faktor yang menjadi pertimbangan dalam menentukan lokasi pabrik. Faktor ini dapat dibagi menjadi faktor primer dan faktor sekunder. Faktor primer terdiri dari sumber bahan baku, daerah pemasaran dan transportasi. Faktor sekunder terdiri dari utilitas seperti penyediaan air dan listrik, kemudahan ketersediaan tenaga kerja, iklim, komunitas masyarakat, keadaan tanah dan lainnya. Berdasarkan faktor – faktor tersebut maka pabrik yang akan didirikan berlokasi di Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur dengan pertimbangan sebagai berikut:

### 1.5.1 Faktor Primer

#### a. Sumber Bahan Baku

Lokasi pabrik yang dipilih yaitu di Gresik, Jawa Timur dekat dengan produsen dan minyak kelapa sawit dari PT. Sawit Arum Madani (kapasitas 25.000 ton/tahun) yang berlokasi di Blitar, Jawa Timur. Gliserol didapat dari PT. Cisadane Raya Chemical (kapasitas produksi 22.500 ton/tahun) yang berlokasi di Tangerang. Phtalic anhydride diperoleh dari PT. Petrowidada (kapasitas produksi 140.000 ton/tahun) yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur, dan Toluena didapat dari PT. Transpacific Petrochemical Indotama (kapasitas produksi 100.000 ton/tahun) yang berlokasi di Tuban, Jawa Timur.

#### b. Daerah Pemasaran

Lokasi pabrik dekat dengan daerah pemasaran produk. Konsumen terbesar alkyd resin adalah industri cat, porselen, pernis, dempul, tinta, kapur, perekat yang sebagian besar berlokasi di Pulau Jawa sehingga dalam pemasarannya mudah. Daftar perusahaan cat, tinta dan sejenisnya terdapat pada Tabel 1.6 dibawah ini:

<b>Nama Perusahaan</b>	<b>Daerah</b>
PT. Aplitech Biner Murni	Jakarta
PT. Dana Paint Indonesia	Jakarta
PT. Nippon Paint Indonesia	Jakarta
PT. Glucksindo Makmur	Jakarta
PT. Axalta	Jawa Barat
PT. Asia Permai	Jawa Barat

<b>Nama Perusahaan</b>	<b>Daerah</b>
PT. Bangkit Maju Wijaya	Jawa Barat
PT. ICI Paints Indonesia	Jawa Barat
PT. International Paint Indonesia	Jawa Barat
PT. Bintang Catur Adhyasa	Jawa Tengah
PT. Citra Warna Abadi	Jawa Tengah
PT. Deka Sejahtera Bersama	Jawa Tengah
PT. Indaco Waina Dunia	Jawa Tengah
PT. Nusa Sarana Indonesia	Jawa Tengah
PT. Avia Avian	Jawa Timur
PT. Anugrah Bintang Fajar	Jawa Timur
PT. Dura Putra Perkasa	Jawa Timur
PT. Nipsea Paint and Chemicals	Jawa Timur
PT. Global Mitra Abadi	Jawa Timur

Sumber: Kemenperin.go.id

### **c. Transportasi**

Jalur transportasi baik darat maupun laut yang berperan dalam pendistribusian bahan baku maupun produk cukup memadai, untuk transportasi darat tersedia jalan raya yang menghubungkan Jakarta – Surabaya dan daerah – daerah lain yang berpotensi untuk menunjang jalannya proses produksi dan pemasaran. Sedangkan jalur laut dapat menggunakan pelabuhan barang di Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya, Jawa Timur.

## 1.5.2 Faktor Sekunder

### a. Penyediaan Utilitas

Untuk menjalankan proses produksi pabrik diperlukan fasilitas penunjang seperti pembangkit listrik dan air. Lokasi yang dekat dengan laut ini akan memudahkan proses pengoperasian pabrik dalam hal pengadaan utilitas. Sedangkan listrik dapat disediakan dari PLN dan Generator.

### b. Tenaga Kerja

Kebutuhan untuk ketenagakerjaan dapat diperoleh dari daerah Gresik dan sekitarnya dengan memperkerjakan masyarakat sekitar.

### c. Kawasan Industri

Penempatan pabrik di kawasan industri sesuai dengan Keputusan Presiden No. 41 Tahun 1996 tentang Kawasan Industri. Pada pasal 15 ayat 2 yang di dalamnya disebutkan bahwa pembangunan di kawasan industri merupakan syarat untuk melakukan pembangunan dan kegiatan produksi

### d. Komunitas

Masyarakat di sekitar lokasi juga perlu diperhatikan karena masyarakat ini dapat dijadikan pegawai yang prospektif dan akan mempengaruhi tingkat keamanan yang merupakan salah satu hal penting yang perlu dijadikan pertimbangan. Pada pemilihan lokasi yaitu kawasan industri



gresik yang merupakan kawasan industri terbesar di Jawa Timur, sehingga masyarakat sekitar sudah terbiasa dengan keadaan tersebut.

## **1.6 Dasar Rancangan Proses**

Dari uraian di atas dan pertimbangan yang ada baik dari segi ekonomi dan sosial, maka pabrik alkyd resin ini cukup berpotensi untuk berkembang di Indonesia, dimana dasar rancang pabrik sebagai berikut:

- a. Kapasitas pabrik yang dirancang sebesar 30.000 ton/tahun dan akan mulai memproduksi pada tahun 2028.
- b. Pabrik akan didirikan di kawasan industri Gresik, Jawa Timur.

## **BAB 2**

### **PEMILIHAN BAHAN DAN URAIAN PROSES**

Pada prarancangan pabrik alkyd resin ini menggunakan tahapan proses yang sama yaitu proses alkoholisis dan proses esterifikasi namun terdapat perbandingan bahan untuk dijadikan polioliol. Bahan baku yang digunakan yaitu gliserol dan pantaerythritol. Kedua bahan tersebut akan dibandingkan berdasarkan tinjauan ekonomi dan tinjauan thermodinamika.

#### **2.1 Metode Alkoholisis atau Monogliserida**

Jika minyak, polioliol dan asam dikarboksil dipanaskan bersama akan menghasilkan campuran heterogen dan kondensasi awal antara polioliol dan asam dikarboksil menghasilkan poliester. Poliester ini tidak larut dalam minyak dan dengan cepat membentuk poliester yang tidak dimodifikasi yang dengan cepat membentuk gel yang dimulai dengan reaksi. Untuk mengatasi masalah ini, metode alkoholisis digunakan. Metode ini melibatkan pengolahan minyak trigliserida dengan polioliol dan katalis pada suhu 250–260°C, di mana reaksi alkoholisis akan berlangsung (Heriyanto

*et al.* 2013). Monogliserida yang dihasilkan ditambahkan seperti asam ftalat untuk membuat resin homogen.

Minyak yang digunakan berasal dari minyak kelapa sawit yang kemudian di ambil trigliseridanya ( $C_{47}H_{88}O_6$ ). Trigliserida yang digunakan pada industri alkyd resin ini merupakan trigliserida stearin dan olein. Stearin dan olein merupakan 2 bentuk trigliserida yang dapat ditemukan pada minyak kelapa sawit. Trigliserida adalah molekul lemak yang terbentuk dari satu molekul gliserol ( $C_3H_8O_3$ ) dan tiga molekul asam lemak. Asam lemak yang berbeda dapat menghasilkan stearin dan olein. Asam lemak tersebut berupa:

1. Asam Laurat ( $C_{12}H_{24}O_2$ )
2. Asam Miristat ( $C_{14}H_{28}O_2$ )
3. Asam Oleat ( $C_{18}H_{34}O_2$ )

Dari ketiga asam tersebut, diketahui merupakan bagian dari stearin dan olein dengan rincian yaitu Asam Laurat ( $C_{12}H_{24}O_2$ ) dan Asam Miristat ( $C_{14}H_{28}O_2$ ) merupakan asam lemak jenuh karena memiliki rantai karbon yang lebih pendek yang merupakan stearin, sedangkan Asam Oleat ( $C_{18}H_{34}O_2$ ) merupakan olein karena termasuk dalam kategori asam lemak tak jenuh.

Sehingga jika dirincikan sesuai penjelasan diatas, gliserol gliserol ( $C_3H_8O_3$ ) dan tiga molekul asam lemak akan membentuk trigliserida ( $C_{47}H_{88}O_6$ ) yang merupakan stearin dan olein.

Untuk mengetahui selesainya metode alkoholisis dapat dilakukan dengan melarutkan satu bagian campuran yang jernih, karena prinsipnya minyak tidak larut dalam alcohol dan monoester larut. Jadi, bila campuram belum jernih maka proses alkoholisis belum selesai. Asam karboksilat kemudian ditambahkan dan esterifikasi berlangsung pada temperature 220 – 240 °C untuk mendapatkan resin alkyd yang diinginkan (Heriyanto *et al.* 2013).

Pada proses alkoholisis menggunakan poliol yang akan menyebabkan terjadinya reaksi interesifikasi yang dipengaruhi oleh panas dan katalis sehingga mengurangi jumlah hidroksi yang tersedia dan membentuk poliol yang mempunyai fungsionalitas lebih tinggi. Jenis poliol yang biasa digunakan untuk pembuatan alkyd resin adalah gliserol dan pentaeritritol.

## 2.2 Katalis

Pembentukan monogliserida dari minyak nabati pada pembuatan resin alkyd tipe minyak kandungan tinggi membutuhkan waktu yang lama sehingga diperlukan katalis. Katalis yang digunakan adalah katalis campuran karena fasa antara katalis (padat) dan medium (cair). Katalis ini menyerap larutan pada media. Terjadinya adsorpsi kimia ini dapat mengakibatkan perubahan aktivasi molekul. Karena perubahan aktivitas

molekuler, stabilitas molekul dalam larutan terganggu, membuatnya mudah untuk memutuskan hubungan antar molekul.

Logam alkali hidroksida adalah katalis alkoholisis yang efektif tetapi dapat menghasilkan alkyd resin dengan warna yang gelap. Katalis lainnya seperti senyawa timbal dengan konsentrasi 0,2 – 0,5 % dari minyak sangat baik digunakan untuk alkoholisis minyak kelapa sawit dan gliserol.

### 2.3 Proses Pendukung

Berdasarkan prosedur kimia diatas, maka untuk proses produksi atau metode proses dapat divariasikan berdasarkan pengaturan secara mekanis untuk menghilangkan air sebagai produk samping (*by – product*) sehingga reaksi esterifikasi dapat berlangsung dengan sempurna. Kondisi proses pembuatan alkyd resin dengan menggunakan metode alkoholisis dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

**Tabel 2.1 Kondisi Proses Pembuatan Alkyd Resin Metode Alkoholisis**

Bahan Baku	Trigliserida
Temperature	250 – 260°C
Biaya Perawatan Alat	Lebih murah
Tekanan	1 atm
Konversi	92 %

Sumber: (Igbo *et al.* 2014)

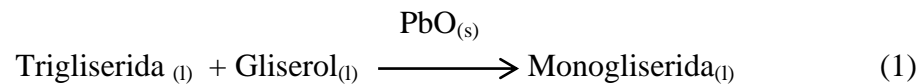
## 2.4 Berdasarkan Tinjauan Ekonomi

Tinjauan Ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui keuntungan yang dihasilkan oleh pabrik per kg produk yang dihasilkan pada masing-masing bahan penunjang yang akan digunakan.

### 2.4.1 Proses menggunakan Poliol Gliserol

Reaksi pembentukan alkyd resin berbahan baku trigliserida diproses dengan metode Monogliserida atau Alkoholisis yang terdiri dari 2 tahap reaksi yaitu tahap alkoholisis dan tahap esterifikasi.

#### a. Tahap Alkoholisis



#### b. Tahap Esterifikasi



**Tabel 2.2. Persen Komposisi Bahan Baku Pembuatan Alkyd Resin**

Material	Berat (%)
Trigliserida	61,3
Gliserol	9,2
Phthalic Anhydride	29
Katalis PbO	0,5

Sumber: Patent WO2010023532

### a. Tahap Alkoholisis

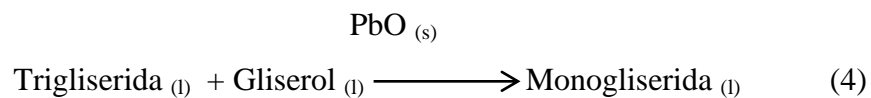
Bila produk monogliserida yang terbentuk pada proses ini sebanyak 1 gram, Yield dari proses ini terdiri dari 91,5% Monogliserida dengan basis trigliserida (Elliott 2018), maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Yield} = 0,915 &= \frac{\text{berat alkyd resin yang terbentuk}}{\text{berat trigliserida umpan}} & (3) \\
 &= \frac{1}{\text{berat trigliserida umpan}} \\
 &= 1,09 \text{ kg (Berat Trigliserida umpan)}
 \end{aligned}$$

Berat reaktan yang lainnya dapat dihitung dari perbandingan % komposisi yang ada pada Tabel 2.2.

Basis = 1 kg

Reaksi :



Berat (Kg) :

1,09                      0,16              0,01                      1

Dalam perhitungan di atas, untuk membentuk monogliserida 1 kg, diperlukan trigliserida sebanyak 1,09 kg, gliserol sebanyak 0,16 kg dan katalis PbO sebanyak 0,01 kg.

### b. Tahap Esterifikasi

Bila produk alkyd resin yang terbentuk pada proses ini sebanyak 1 gram, Yield dari proses ini terdiri dari 75,4% alkyd resin dengan basis monogliserida (Elliott 2018), maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Yield} = 0,754 &= \frac{\text{berat alkyd resin yang terbentuk}}{\text{berat monogliserida umpan}} && (5) \\
 &= \frac{1}{\text{berat monogliserida umpan}} \\
 &= 1,326 \text{ kg (Berat Monogliserida umpan)}
 \end{aligned}$$

Berat reaktan yang lainnya dapat dihitung dari perbandingan % komposisi yang ada pada Tabel 2.2. di atas.

Basis = 1 kg

Reaksi :



Berat (Kg) :

1,09	0,54	1	0,33
------	------	---	------

Dari perhitungan tahap 2 (tahap esterifikasi) di atas, untuk membentuk Alkyd Resin 1 kg, diperlukan Monogliserida sebanyak 1,09 kg dan Phthalic Anhydride sebanyak 0,54 kg.



**Tabel 2.3. Data harga bahan baku dan produk**

<b>Material</b>	<b>Harga (\$/kg)</b>
Trigliserida (CPO)	0,6
Gliserol	1,2
Katalis PbO	1,5
Phthalic Anhydride	1,3
Toluena	0,75
Alkyd Resin	2,96

Sumber: Icispricing.com

Dari kedua tahapan proses diatas, dapat dihitung nilai Ekonomi Potensial. Berikut harga yang dibutuhkan untuk membuat 1 kg alkyd resin :

**Tabel 2.4. Harga bahan baku untuk membuat 1 kg Alkyd Resin menggunakan Polioli Gliserol**

<b>Material</b>	<b>Harga (\$/kg)</b>	<b>Berat (kg)</b>	<b>Total harga (\$)</b>
Trigliserida (CPO)	0,6	1,09	0,654
Gliserol	1,2	0,16	0,192
Katalis PbO	1,5	0,01	0,015
Phtalic Anhydride	1,3	0,51	0,663
<b>Total harga bahan baku</b>			<b>1,524</b>

$$EP = (\text{total harga produk}) - (\text{total harga bahan baku}) \quad (7)$$

$$EP = (\text{harga alkyd resin}) - (\text{harga Trigliserida/CPO} + \text{harga Gliserol} + \text{Phtalic Anhydride} + \text{katalis PbO}) \quad (8)$$

$$EP = (\$ 2,96/\text{kg}) - (\$ 1,524/\text{kg})$$

$$EP = \$ 1,436/\text{kg}$$

Keuntungan untuk produksi 40.000 ton adalah :

$$\$1,436 \times 40.000 \times 1.000 = \$57.440.000/\text{tahun}$$

#### 2.4.2 Proses Menggunakan Polioliol Pentaerythritol

Jika pada proses alkoholisis, poli basic alcohol diganti dengan pentaerythritol. Konversi reaksi pada proses ini yaitu 87% dengan kondisi operasi pada suhu 260°C dan tekanan 1 atm (Heilig 1994). Ekonomi potensial untuk proses yang menggunakan pentaerythritol dapat dihitung sebagai berikut:

##### a. Tahap Alkoholisis

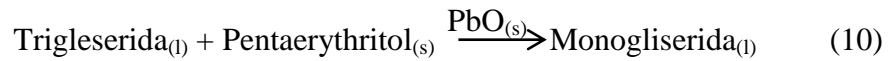
Bila produk monogliserida yang terbentuk pada proses ini sebanyak 1 gram dan Yield dari proses ini terdiri dari 91,5% Monogliserida dengan basis trigliserida, maka:

$$\begin{aligned} \text{Yield} = 0,915 &= \frac{\text{berat monogliserida yang terbentuk}}{\text{berat trigliserida umpan}} && (9) \\ &= \frac{1}{\text{berat trigliserida umpan}} \\ &= 1,09 \text{ kg (Berat trigliserida umpan)} \end{aligned}$$

Berat reaktan yang lainnya dapat dihitung dari perbandingan % komposisi yang ada pada Tabel 2.2 di atas.

Basis = 1 Kg

Reaksi :



Berat (Kg) :

1,09                      0.16                      0.01                      1

Dari perhitungan diatas, didapatkan bahwa untuk membentuk monogliserida 1 kg, diperlukan trigliserida sebanyak 1,09 kg, gliserol sebanyak 0,16 dan katalis PbO sebanyak 0,01 kg.

#### b. Tahap Esterifikasi

Bila produk alkyd resin yang terbentuk pada proses ini sebanyak 1 gram, Yield dari proses ini terdiri dari 75,4 % alkyd resin dengan basis monogliserida, maka:

$$\begin{aligned} \text{Yield} = 0,75 &= \frac{\text{berat alkyd resin yang terbentuk}}{\text{berat monogliserida umpan}} & (11) \\ &= \frac{1}{\text{berat monogliserida umpan}} \\ &= 1,326 \text{ kg (Berat Monogliserida umpan)} \end{aligned}$$

Berat reaktan yang lainnya dapat dihitung dari perbandingan % komposisi yang ada pada Tabel 2.2 di atas.

Basis = 1 Kg

Reaksi :

Monogliserida <sub>(l)</sub>+ Phthalic Anhydride <sub>(s)</sub> → Alkyd Resin <sub>(l)</sub>+ Air<sub>(l)</sub> (12)

Berat (Kg) :

1,326                      0.54                      1                      0.33

Dari perhitungan diatas, didapatkan bahwa untuk membentuk alkyd resin 1 kg, diperlukan monogliserida sebanyak 1,326 kg dan phtalic anhydride sebanyak 0,54 kg. Harga bahan baku untuk membuat 1 kg alkyd resin dengan menggunakan Polioliol Pentaerythritol dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut:

**Tabel 2.5 Harga Bahan Baku untuk Membuat 1 Kg Alkyd Resin  
Menggunakan Polioliol Pentaerythritol**

<b>Material</b>	<b>Harga (\$/Kg)</b>	<b>Berat (Kg)</b>	<b>Total Harga (\$)</b>
Trigliserida (CPO)	0,6	1,36	0,816
Pentaerythritol	1,2	0,16	0,192
Katalis PbO	1,5	0,01	0,015
Phtalic Anhydride	1,3	0,54	0,702
<b>Total harga bahan baku</b>			<b>1,725</b>

$$EP = (\text{total harga produk}) - (\text{total harga bahan baku}) \quad (7)$$

$$EP = (\text{harga alkyd resin}) - (\text{harga Triglicerida}) + (\text{harga Pentaerythritol} + \text{Phtalic anhydride} + \text{katalis PbO}) \quad (8)$$

$$EP = (\$ 2,96/\text{kg}) - (\$ 1,725/\text{kg})$$

$$EP = \$ 1,235/\text{kg}$$

Keuntungan untuk produksi 40.000 Ton adalah:

$$\$1,235 \times 40.000 \times 1.000 = \$ 49.400.000/\text{tahun}$$

Secara ekonomi potensial, bahan poliol yang dipilih adalah Gliserol dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Harga gliserol yang lebih murah dari pentaerythritol
- Gliserol tersedia di Indonesia, sedangkan untuk mendapatkan pentaerythritol yaitu dengan mengimpor dari luar negeri. Hal ini akan menambah biaya transportasi bahan baku yang lebih mahal.

## 2.5 Berdasarkan Tinjauan Termodinamika

### 2.5.1 Perhitungan Panas Reaksi

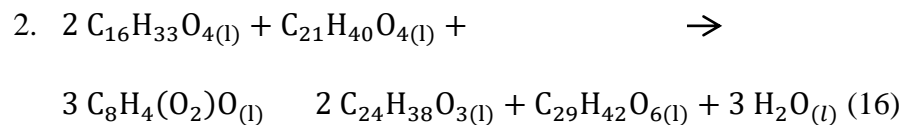
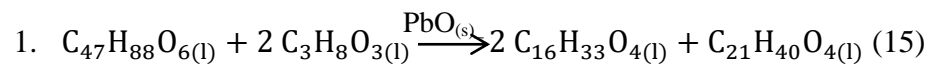
Jika proses ditinjau dari panas reaksinya, yaitu dengan cara memperhitungkan nilai energi bebas Gibbs (kondisi reaksi) ( $\Delta G_R$ ) dan panas reaksi pembentukan (kondisi reaksi) ( $\Delta H_R$ ).

$$\Delta H_R = \Delta H_f + \int_{T_0}^T \Delta C_p \times dT \quad (13)$$

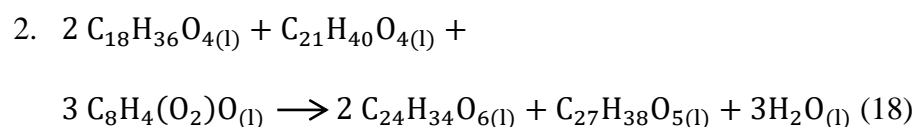
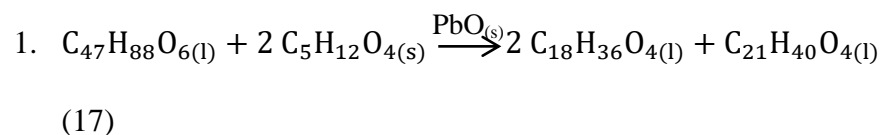
$$\Delta G_R = \Delta H_f + \frac{T}{T_0} (\Delta H_f - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} \quad (14)$$

Bahan baku utama dan produk yang dihasilkan memiliki molekul panjang dan memiliki beberapa gugus fungsi, sehingga untuk menghitung nilai energi bebas Gibbs standar ( $\Delta G^0$ ) dan panas reaksi pembentukan standar ( $\Delta H^0_f$ ) digunakan pendekatan rumus molekul yaitu dengan kontribusi gugus fungsi. Metode Joback pada Reid, 1987 dapat digunakan untuk estimasi nilai  $\Delta G^0$  dan  $\Delta H^0_f$ .

#### a. Berdasarkan Penggunaan Gliserol

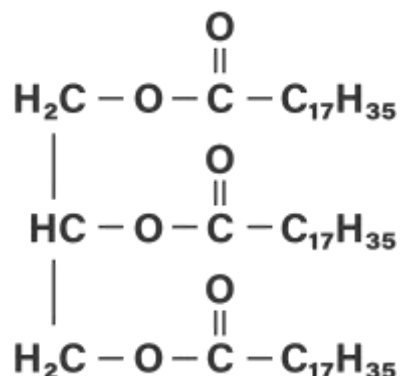


#### b. Berdasarkan Penggunaan Pentaerythritol



### 2.5.1.1 Perhitungan Nilai CP

#### a. Trigliserida (C<sub>47</sub>H<sub>88</sub>O<sub>6</sub>)



Gambar 2.1 Struktur Kimia Trigliserida

Tabel 2.6 Kontribusi Gugus Fungsi untuk Energi Trigliserida

Gugus	$\Delta H^0_f$ (kJ/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah (n <sub>i</sub> )
-CH <sub>3</sub>	76,45	43,96	3
=CH <sub>2</sub>	-20,64	8,42	38
=CH-	29,89	58,36	2
=CO-	133,22	-120,50	3
-O- (nonring)	-132,22	-105	3

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H^0_f \text{ Trigliserida} &= (3 \times 76,45) + (38 \times (-20,64)) + (2 \times 29,89) + (3 \times \\
 &133,22) + (3 \times (-132,22)) \\
 &= 229,35 + (-784,32) + 59,78 + 399,66 + (-396,66) \\
 &= \mathbf{-492,19 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Trigliserida} &= (3 \times 43,96) + (38 \times (8,42)) + (2 \times 58,36) + (3 \times \\
 &(-102,50)) + (3 \times (-105))
 \end{aligned}$$

$$= 131,88 + 32.315,96 + 116,72 + (-361,5) + (-315)$$

$$= -107,94 \text{ kJ/mol K}$$

**Tabel 2.7 Kontribusi Gugus Fungsi untuk Cp Trigliserida**

Gugus	Kapasitas Panas (J/mol K)				
	273 K	298 K	323 K	348 K	373 K
-CH <sub>3</sub>	40	41,6	43,5	45,8	48,3
=CH <sub>2</sub>	27,6	28,2	29,1	29,9	31
=CH-	23,8	24,9	25,7	26,6	28
=CO-	42,7	43,5	44,4	45,2	46
-O- (nonring)	29,3	29,7	30,1	30,5	31

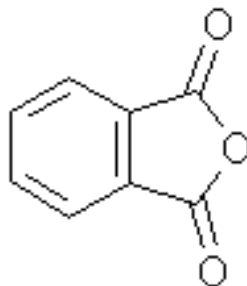
Sumber: (Reid,1987)

Dari Tabel 2.7 diatas, didapatkan nilai kapasitas panas untuk masing – masing gugus, sehingga dapat dihitung nilai Cp untuk Trigliserida sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Cp Trigliserida} &= (3 \times 41,6) + (38 \times 28,2) + (2 \times 24,9) + (3 \times 43,5) \\ &\quad + (3 \times 43,5) + (3 \times 29,7) \\ &= 1465,8 \text{ J/mol K} \\ &= \mathbf{1,4658 \text{ kJ/mol K}} \end{aligned}$$



b. Phthalic Anhydride [ $C_8H_4(O_2)O$ ]



Gambar 2.2 Struktur Kimia Phthalic Anhydride

Tabel 2.8 Kontribusi Gugus Fungsi untuk Energi Phthalic Anhydride

Gugus	$\Delta H^0_f$ (kJ/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah ( $n_i$ )
-CH- (ring)	2,09	11,30	4
=CH< (ring)	46,43	54,05	4
=O (ring)	247,61	250,83	2
-O- (ring)	138,16	98,22	1

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H^0_f \text{ Phthalic Anhydride} &= (4 \times 2,09) + (4 \times (46,43)) + (2 \times 247,61) \\
 &\quad + (1 \times 136,16) \\
 &= 8,36 + 185,72 + 495,22 + 138,16 \\
 &= \mathbf{827,46 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Phthalic Anhydride} &= (4 \times 11,30) + (4 \times 54,05) + (2 \times 250,83) + \\
 &\quad (1 \times 98,22) \\
 &= 45,2 + 216,2 + (-501,66) + (-98,22) \\
 &= \mathbf{861,28 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

**Tabel 2.9 Konstanta untuk Cp Phtalic Anhydride**

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
-105,6270000000	1,9840000000	-0,0038840000	0,0000028513

Sumber: (Yaws, 1999)

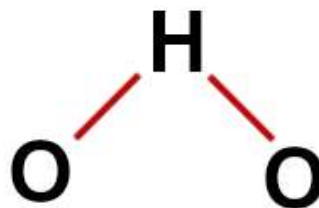
$$\Delta H = \int C_p dt = \int (A + B T + C T^2 + D T^3) dT \quad (19)$$

$$\Delta H = A T + \left(\frac{B}{2}\right) T^2 + \left(\frac{C}{3}\right) T^3 + \left(\frac{D}{4}\right) T^4 \Big|_{t_1}^{t_2} \quad (20)$$

Dari Tabel 2.9 diatas, didapatkan nilai kapasitas panas untuk masing – masing gugus, sehingga dapat dihitung nilai Cp untuk Phtalic Anhydride sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_p dt &= 52.395,72941 \text{ J/mol} \\ &= \mathbf{52,39572941 \text{ kJ/mol}} \end{aligned}$$

**c. Air (H<sub>2</sub>O)**



**Gambar 2.3 Struktur Kimia Air**

**Tabel 2.10 Nilai  $\Delta H^0_f$  dan  $\Delta G^0$  pada Air**

Gugus	$\Delta H^0_f$ (kJ/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)
H <sub>2</sub> O	-285,8	-237,13

Sumber: Smith, J.M., Ed. 6<sup>th</sup>, 2001, Appx. C4, Tabel C.4

$$\Delta H^0_f \text{ Air} = -285,8 \text{ kJ/mol K}$$

$$\Delta G^0_f = -237,13 \text{ kJ/mol K}$$

**Tabel 2.11 Konstanta untuk Cp Air**

A	B	C	D
92	-0,0400	-0,00021103	0,000000535

Sumber: (Yaws, 1999)

$$\Delta H = \int C_p dt = \int (A + B T + C T^2 + D T^3) dT \quad (19)$$

$$\Delta H = A T + \left(\frac{B}{2}\right) T^2 + \left(\frac{C}{3}\right) T^3 + \left(\frac{D}{4}\right) T^4 \Big|_{t_1}^{t_2} \quad (20)$$

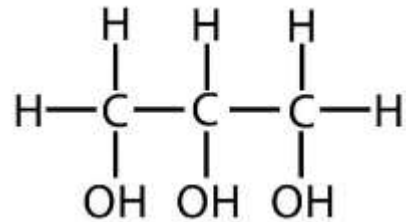
Dari Tabel 2.11 diatas, didapatkan nilai kapasitas panas untuk masing – masing gugus, sehingga dapat dihitung nilai Cp untuk air sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_p dt &= 16494,36452 \text{ J/mol} \\ &= \mathbf{16,49436452 \text{ kJ/mol}} \end{aligned}$$

### 2.5.1.2 Berdasarkan Penggunaan Polioliol (Poli Basic Alkohol) jenis Gliserol



#### a. Gliserol $[C_3H_8O_3]$



Gambar 2.4 Struktur Kimia Gliserol

Tabel 2.12 Kontribusi Gugus Fungsi untuk Energi Gliserol

Gugus	$\Delta H^0_f$ (kJ/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah ( $n_i$ )
-OH	-208,04	-189,2	3
=CH <sub>2</sub>	-20,64	8,42	2
=CH-	29,89	58,36	1

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H^0_f \text{ Gliserol} &= (3 \times (-208,04)) + (2 \times (-20,64)) + (1 \times 29,89) \\
 &= -624,12 + (-41,28) + 29,89 \\
 &= \mathbf{-635,51 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Gliserol} &= (3 \times (-189,2)) + (2 \times (8,42)) + (1 \times 58,36) \\
 &= -567,6 + 16,84 + 58,36 \\
 &= \mathbf{-492,40 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

**Tabel 2.13 Konstanta untuk Cp Gliserol**

A	B	C	D
132,145000000	0,860070000	-0,1974500000	0,0000018068

Sumber: (Yaws, 1999)

$$\Delta H = \int C_p dt = \int (A + B T + C T^2 + D T^3) dT \quad (19)$$

$$\Delta H = A T + \left(\frac{B}{2}\right) T^2 + \left(\frac{C}{3}\right) T^3 + \left(\frac{D}{4}\right) T^4 \Bigg|_{t_1}^{t_2} \quad (20)$$

Dari Tabel 2.13 diatas, didapatkan nilai kapasitas panas untuk masing – masing gugus, sehingga dapat dihitung nilai Cp untuk Gliserol sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_p dt &= -7.898.297,918 \text{ J/mol} \\ &= \mathbf{-7.989,297918 \text{ J/mol}} \end{aligned}$$

**b. Digliserida [2 C<sub>16</sub>H<sub>33</sub>O<sub>4</sub>]**

**Tabel 2.14. Kontribusi gugus fungsi untuk energi digliserida**

Gugus	$\Delta H^0_f$ (Kj/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah (n <sub>i</sub> )
-CH <sub>3</sub>	-76,45	-43,96	1
=CH <sub>2</sub>	-20,64	8,42	13
=CH-	29,89	58,36	1
=CO-	133,22	-120,50	1

-O- (nonring)	-132,22	-105	1
-OH	-208,04	-189,2	2

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H^0_f \text{ Digliserida} &= 2[(1 \times (-76,45)) + (13 \times (-20,64)) + (1 \times 29,89) + \\
 &\quad (1 \times 133,22) + (1 \times (-132,22)) + (2 \times (-208,04))] \\
 &= 2[-76,45 + (-268,32) + 29,89 + 133,22 + \\
 &\quad (132,22) + (-416,08)] = 2 \times (-729,96) \\
 &= \mathbf{-1459.92 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Digliserida} &= 2 [(1 \times (-43,96)) + (13 \times 8,42) + (1 \times 58,36) + (1 \times \\
 &\quad (-120,50)) + (1 \times (-105)) + (2 \times (-189,2))] \\
 &= 2 [-43,96 + 109,46 + 58,36 + (-120,5) + (-105) + \\
 &\quad (378,4)] \\
 &= 2 \times (-480,04) \\
 &= \mathbf{-960.08 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

**Tabel 2.15. Kontribusi gugus fungsi untuk Cp Digliserida**

Gugus	Kapabilitas Panas (J/mol K)				
	273 K	298 K	323 K	348 K	373 K
-CH3	40	41,6	43,5	45,8	48,3
=CH2	27,6	28,2	29,1	29,9	31
=CH-	23,8	24,9	25,7	26,6	28
=CO-	42,7	43,5	44,4	45,2	46
-O- (nonring)	29,3	29,7	30,1	30,5	31
-OH	33,5	43,9	52,3	61,7	71,1

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \text{Cp Digliserida} &= 2 [(1 \times 41,6) + (13 \times 28,2) + (1 \times 24,9) + (1 \times \\
 &43,5) + (1 \times 29,7) + (2 \times 43,9)] \\
 &= 2 [41,6 + (-366,6) + 24,9 + 43,5 + 29,7 + 87,8] \\
 &= 1188,2 \text{ J/mol K} \\
 &= \mathbf{1,1882 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

c. Monogliserida [ $\text{C}_{21}\text{H}_{38}\text{O}_4$ ]

Tabel 2.16. Kontribusi gugus fungsi untuk energi monogliserida

Gugus	$\Delta H^0_f$ (Kj/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah ( $n_i$ )
-CH <sub>3</sub>	-76,45	-43,96	1
=CH <sub>2</sub>	-20,64	8,42	16
=CH-	29,89	58,36	3
=CO-	133,22	-120,50	1
-O- (nonring)	-132,22	-105	1
-OH	-208,04	-189,2	2

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H^0_f \text{ Monogliserida} &= (1 \times (-76,45)) + (16 \times (-20,64)) + (3 \times \\
 &29,89) + (1 \times 133,22) + (1 \times (-132,22)) + \\
 &(2 \times (208,04)) \\
 &= -76,45 + (-330,24) + 89,67 + 133,22 + (- \\
 &132,22) + (-416,08) \\
 &= \mathbf{-732,10 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Monogliserida} &= (1 \times (-43,96)) + (16 \times 8,42) + (3 \times 58,36) + (1 \times \\
 &\quad (-120,50)) + (1 \times (-105)) + \\
 &= -43,96 + 134,72 + 175,08 + (-120,5) + (-105) + (- \\
 &\quad 378,4) + (2 \times -189,2) \\
 &= \mathbf{-338,06 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

**Tabel 2.16. Kontribusi gugus fungsi untuk Cp monogliserida**

Gugus	Kapasitas Panas (J/mol K)				
	273 K	298 K	323 K	348 K	373 K
-CH <sub>3</sub>	40	41,6	43,5	45,8	48,3
=CH <sub>2</sub>	27,6	28,2	29,1	29,9	31
=CH-	23,8	24,9	25,7	26,6	28
=CO-	42,7	43,5	44,4	45,2	46
-O- (nonring)	29,3	29,7	30,1	30,5	31
-OH	33,5	43,9	52,3	61,7	71,1

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 C_p \text{ Monogliserida} &= (1 \times 41,6) + (2 \times 28,2) + (3 \times 24,9) + (1 \times 43,5) + \\
 &\quad (1 \times 29,7) + (2 \times 43,9) \\
 &= 41,6 + 56,4 + 74,7 + 43,5 + 29,7 + 87,8 \\
 &= 728,5 \text{ kJ/mol K} \\
 &= \mathbf{0,7285 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$



➤ **Energi berdasarkan penggunaan Polioli Gliserol**

**Reaksi a**

$$\begin{aligned}
 \Delta H^0_f \text{ berdasarkan Gliserol} &= \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} && (21) \\
 &= [\Delta H (\text{Digliserida} + \text{Monogliserida})] - [\Delta H \\
 &\quad (\text{Trigliserida} + \text{Gliserol})] \\
 &= [-1.459,92 + -732,1] - [-492,19 + (2x \\
 &\quad -635,51)] \\
 &= \mathbf{-428,81 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ berdasarkan Gliserol} &= \Delta G_{\text{produk}} - \Delta G_{\text{reaktan}} && (22) \\
 &= [\Delta G (\text{Digliserida} + \text{Monogliserida})] - [\Delta G \\
 &\quad (\text{Trigliserida} + \text{Gliserol})] \\
 &= [-960,08 + -338,06] + [-107,94 + (2x - \\
 &\quad 492,4)] \\
 &= \mathbf{-205,4 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

**d. Alkyd Resin**

Ada 3 mol Alkyd Resin yang terbentuk dengan 2 diantaranya memiliki struktur kimia yang sama, sedangkan yang lainnya berbeda.

**(a) Alkyd Resin (2 molekul yang sama) :  $[2C_{24}H_{34}O_6]$**

**Tabel 2.18. Kontribusi gugus fungsi untuk energi Alkyd Resin (2 molekul yang sama)**

Gugus	$\Delta H^0_f$ (Kj/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah ( $n_i$ )
-CH3	-76,45	-43,96	1
=CH2	-20,64	8,42	13
=CH-	29,89	58,36	1
=CH- (ring)	2,09	11,30	4
=C<(ring)	46,43	54,05	2
=CO-	133,22	-120,50	3
-O- (nonring)	-132,22	-105	3

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H^0_f \text{ Alkyd Resin} &= 2 [ (1 \times (-76,45)) + (13 \times (-20,64)) + (2 \times 46,43) + \\
 &\quad (1 \times 29,89) + (4 \times 2,09) + (3 \times 133,22) + (3 \times (- \\
 &\quad 133,22))] \\
 &= 2[-76,45 + (-268,32) + 29,89 + 8,36 + 92,86 \\
 &\quad + 399,6 + (-396,66)] \\
 &= 2 \times (-210,66) \\
 &= \mathbf{-421,32 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Alkyd Resin} &= 2 [(1 \times (-43,96)) + (13 \times 8,42) + (1 \times 58,36) + (4 \times \\
 &\quad 11,30) + (2 \times 54,05) + (3 \times (-120,50)) + (3 \times (- \\
 &\quad 105))] \\
 &= 2[-43,96 + 109,46 + 58,36 + 45,2 + 108,1 + (- \\
 &\quad 361,5) + 315]
 \end{aligned}$$

$$= 2 \times (-399,34)$$

$$= -798,68 \text{ kJ/mol K}$$

**Tabel 2.19. Kontribusi gugus fungsi untuk Cp Alkyd Resin**

Gugus	Kapasitas Panas (J/mol K)				
	273 K	298 K	323 K	348 K	373 K
-CH <sub>3</sub>	40	41,6	43,5	45,8	48,3
-CH <sub>2</sub> -	27,6	28,2	29,1	29,9	31
=CH-	23,8	24,9	25,7	26,6	28
=CH-(ring)	23,8	24,9	25,7	26,6	28
=CO-	42,7	43,5	44,4	45,2	46
-O- (nonring)	29,3	29,7	30,1	30,5	31
-OH	33,5	43,9	52,3	61,7	71,1

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \text{Cp Alkyd Resin} &= 2 [(1 \times 41,6) + (13 \times 28,2) + (1 \times 24,9) + (4 \times 24,9) \\
 &\quad + (2 \times 43,5) + (3 \times 29,7) + (3 \times 43,9)] \\
 &= 2[41.6+366.6 +24.9 + 99.6 +87+395.1] \\
 &= 1.681 \text{ J/mol K} \\
 &= \mathbf{1,681 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

(b) Alkyd Resin (1 molekul yang berbeda) : [C<sub>29</sub>H<sub>42</sub>O<sub>6</sub>]

**Tabel 2.20. Kontribusi gugus fungsi untuk energi Alkyd Resin (1 molekul yang berbeda)**

Gugus	$\Delta H^0_f$ (Kj/mol)	$\Delta G^0$ (kJ/mol)	Jumlah (n <sub>i</sub> )
-CH <sub>3</sub>	-76,45	-43,96	1
=CH <sub>2</sub>	-20,64	8,42	16
=CH-	29,89	58,36	3
=CH- (ring)	2,09	11,30	4
=C<(ring)	46,43	54,05	2
=CO-	133,22	-120,50	3
-O- (nonring)	-132,22	-105	3

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H^0_f \text{ Alkyd Resin} &= (1 \times (-76,45)) + (16 \times (-20,64)) + (3 \times 29,89) + (4 \\
 &\quad \times 2,09) + (2 \times 46,43) + (3 \times 133,22) + (3 \times (- \\
 &\quad 133,22)) \\
 &= -76,45 + (-330,24) + (89,67) + (8,36) + \\
 &\quad (92,86) + (399,66) + (-396,66) \\
 &= \mathbf{-212,8 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Alkyd Resin} &= (1 \times (-43,96)) + (16 \times 8,42) + (3 \times 58,36) + (4 \times \\
 &\quad 11,30) + (2 \times 54,05) + (3 \times (-120,50)) + (3 \times (-105)) \\
 &= -43,96 + 134,72 + 175,08 + (45,2) + (108,1) + (- \\
 &\quad 361,5) + (-315) \\
 &= \mathbf{-257,36 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

➤ **Energi berdasarkan penggunaan Polioli Gliserol**

**Reaksi b**

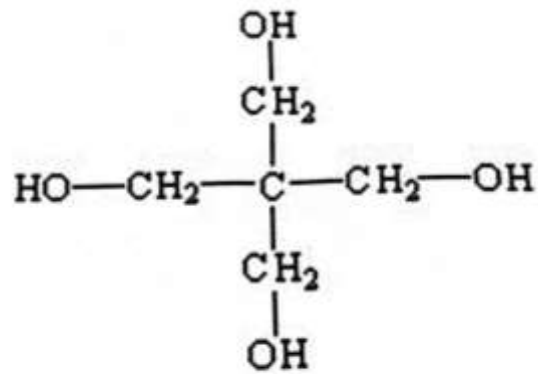
$$\begin{aligned}
 \Delta H^0 \text{f Berdasarkan Gliserol} &= \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} && (21) \\
 &= [\text{AH (Di-Alkyd Resin + Mono-Alkyd} \\
 &\quad \text{Resin + Water)}] - [\text{AH (Diglycerides +} \\
 &\quad \text{Monoglycerides + Phtalic Anhydride)}] \\
 &= [-421,32 + -212,8 + (3 \times -285,8)] - [ \\
 &\quad 1.459,92 + -732,1 + (3 \times 827,46)] \\
 &= \mathbf{-1781.88 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Berdasarkan Gliserol} &= \Delta G_{\text{produk}} - \Delta G_{\text{reaktan}} && (22) \\
 &= [\text{AG (Di-Alkyd Resin + Mono-Alkyd} \\
 &\quad \text{Resin + Water)}] - [\text{AG (Diglycerides +} \\
 &\quad \text{Monoglycerides + Phtalic Anhydride)}] \\
 &= [(-798,68 + -257,36 + (3 \times -237,13))] - [- \\
 &\quad 960,08 + -338,06 (3 \times + (3 \times 861,28))] \\
 &= \mathbf{-3053.15 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

**2.5.1.3 Berdasarkan penggunaan Polioli (Poli Basic Alkohol) jenis**

**Pentaerythritol [C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub>], maka:**

**a. Pentaerythritol [C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub>]**



Gambar 2.5. Struktur Kimia Pentaerythritol

Tabel 2.22. Kontribusi gugus fungsi untuk energy pantaerythritol

Gugus	$\Delta H_f^0$ (kJ/mol)	$\Delta H^0$ (kJ/mol)	Jumlah ( $n_i$ )
-OH	-208.04	-189,20	4
>CH <sub>2</sub>	-20,64	8,42	5
>C<	82,23	116,02	1

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^0 \text{ Pentaerytritol} &= (4 \times (-208.04)) + (5 \times -20,64) + (1 \times 82,23) \\
 &= (-832,16) + (-103,2) + 82,23 \\
 &= \mathbf{-832,49 \text{ kJ/mol}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Pentaerytritol} &= (4 \times (-189.20)) + (5 \times 8,42) + (1 \times 116,02) \\
 &= -756,8 + 42,1 + 116,02 \\
 &= \mathbf{-607,1 \text{ kJ/mol}}
 \end{aligned}$$

**Tabel 2.23. Konstanta untuk Cp Pantaerythritol**

A	B	C	D
694,7800000000	-3,7257000000	0,0068222100	0,0000103410

Sumber : (Yaws, 1999)

$$\Delta H = \int C_p Dt = \int (A + B T + C T^2 + D T^3) dT \quad (19)$$

$$\Delta H = A T + \left(\frac{B}{2}\right) T^2 + \left(\frac{C}{3}\right) T^3 + \left(\frac{D}{4}\right) T^4 \Bigg|_{t_1}^{t_2} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \int C_p dt &= 269544,4728 \text{ J/mol} \\ &= \mathbf{269,5444728 \text{ kJ/mol}} \end{aligned}$$

**b. Digliserida [ 2 C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O<sub>4</sub> ]**

**Tabel 2.24. Kontribusi gugus fungsi untuk energy Digliserida**

Gugus	$\Delta H_f^0$ (kJ/mol)	$\Delta H^0$ (kJ/mol)	Jumlah (n <sub>i</sub> )
-CH <sub>3</sub>	-76,45	-43,96	1
=CH <sub>2</sub>	-20,64	8,42	15
=CO-	133,22	-120,50	1
>C<	82,23	116,02	1
-OH	-208,04	-189,2	3

Sumber : (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^0 \text{ Digliserida} &= 2[(1x(-76,45))+(15x(-20,64)) + (1x133,22) \\
 &\quad +(1x82,23) +(3x(-208,04))] \\
 &= 2[-43,96 + 126,3 + (-120,50) + 116,02 + (-567,6)] \\
 &= 2 \times (-489,74) \\
 &= -979,48 \text{ kJ/mol K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Digliserida} &= 2 [ (1 \times (-43,96)) + (15 \times 8,42) + (-120,50) + (1 \times \\
 &\quad 116,02) + (1 \times (-189,2)) = 2[-43.96 + 126.3 + ( \\
 &\quad 120.50) + 116.02 + (-567,6)] \\
 &= 2 \times (-489,74) \\
 &= -979,48 \text{ kJ/mol K}
 \end{aligned}$$

**Tabel 2.25. Kontribusi gugus fungsi untuk  $C_p$  Digliserida**

Gugus	Kapasitas Panas (J/mol K)				
	273 K	298 K	323 K	348 K	373 K
=CH3	40	41,6	43,5	45,8	48,3
-CH2-	27,6	28,2	29,1	29,9	31
=CO-	42,7	43,5	44,4	45,2	46
>C<	84	84	84	84	
-OH	33,5	43,9	52,3	61,7	71,1

Sumber : (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 C_p \text{ Digliserida} &= 2[(1x(41,6)) + (15x(28,2)) + (1x43,5)+ (1x8,4) + \\
 &\quad (3x43,9)] \\
 &= 2[41,6 + 423+43,5+8,4+131,7] \\
 &= 1.296, \text{J/mol K}
 \end{aligned}$$



$$= 1,2964 \text{ kJ/mol K}$$

c. Monogliserida [ C<sub>21</sub>H<sub>40</sub>O<sub>4</sub>]

Tabel 2.26. Kontribusi gugus fungsi untuk energ Monogliserida

Gugus	$\Delta H_f^0$ (kJ/mol)	$\Delta H^0$ (kJ/mol)	Jumlah (n <sub>i</sub> )
-CH <sub>3</sub>	-76,45	-43,96	1
=CH <sub>2</sub>	-20,64	8,42	14
=CH-	29,89	58,36	3
-CO-	133,22	-120,50	1
-O- (nonring)	-132,22	-105	1
-OH	-208,04	-189,2	2

Sumber : (Reid,1987)

$$\begin{aligned} \Delta H_f^0 \text{ Monogliserida} &= (1 \times (-76,45)) + (14 \times (-20,64)) + (3 \times 29,89) \\ &\quad + (1 \times 133,22) + (1 \times (-132,22)) + (2 \times (- \\ &\quad 208,04)) = -76,45 + (-288,96) + 89,67 + 133,22 \\ &\quad + (-132,22) + (-416,08) \\ &= \mathbf{-690.82 \text{ kJ/mol K}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^0 \text{ Monogliserida} &= (1 \times (-43,96)) + (14 \times 8,42) + (3 \times 58,36) \\ &= + (1 \times (-120,50)) + (1 \times (-105)) + (2 \times -189,2) \\ &= -43,96 + 117,88 + 175,08 + (-120,5) + (-105) + \\ &\quad (-378,4) \\ &= \mathbf{-354.9 \text{ kJ/mol}} \end{aligned}$$

**Tabel 2.27 Kontribusi gugus fungsi untuk Cp Monogliserida**

Gugus	Kapasitas Panas (J/mol K)				
	273 K	298 K	323 K	348 K	373 K
=CH <sub>3</sub> -	40	41,6	43,5	45,8	48,3
-CH <sub>2</sub> -	27,6	28,2	29,1	29,9	31
-CH-	23,8	24,9	25,7	26,6	28
=CO-	42,7	43,5	44,4	45,2	46
-O- (non ring)	29,3	29,7	30,1	30,5	31
-OH	33,5	43,9	52,3	61,7	71,1

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \text{Cp Monogliserida} &= (1 \times 41,6) + (14 \times 28,2) + (3 \times 24,9) \\
 &\quad + (1 \times 43,5) + (1 \times 29,7) + (2 \times 43,9) \\
 &= 41,6 + 394,8 + 74,7 + 43,5 + 29,7 + 87,8 \\
 &= 672,1 \text{ J/mol K} \\
 &= \mathbf{0,6721 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

➤ **Energi berdasarkan penggunaan Polioliol Pentaerythritol**

**Reaksi a**

$$\begin{aligned}
 \Delta H^{\circ} f \text{ berdasarkan Pentaerythritol} &= \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} \quad (21) \\
 &= [\Delta H (\text{Digliserida} + \text{Monogliserida})] \\
 &\quad - [\Delta H (\text{Trigliserida} + \\
 &\quad \text{Pentaerythritol})]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= [1.589,44 + -690,82] - [-492,19 + \\
 &\quad 853,13] \\
 &= \mathbf{-123.09 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ \text{ berdasarkan Pentaerythritol} &= \Delta G_{\text{produk}} - \Delta G_{\text{reaktan}} && (22) \\
 &= [ \Delta G (\text{Digliserida} + \\
 &\quad \text{Monogliserida}) ] - [ \Delta G \\
 &\quad (\text{Trigliserida} + \text{Pentaerythritol}) ] \\
 &= [-979,48 + -354,9] - [ (-107,94) \\
 &\quad + (2 \times -598,68) ] \\
 &= \mathbf{-12,24 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

#### d. Alkyd Resin

Ada 3 mol Alkyd Resin yang terbentuk dengan 2 diantaranya memiliki struktur kimia yang sama, sedangkan yang lainnya berbeda.

a. Alkyd Resin (2 molekul yang sama) :  $[2 \text{ C}_{27}\text{H}_{40}\text{O}_6]$

**Tabel 2.28. Kontribusi gugus fungsi untuk energi Alkyd Resin  
(2 molekul yang sama)**

Gugus	$\Delta H_f^0$ (kJ/(mol))	$\Delta G^0$ (Kj/mol)	Jumlah ( $n_i$ )
-CH <sub>3</sub>	-76,45	-43,96	1
-CH <sub>2</sub> -	-20,64	8,42	15
=CH – (ring)	2,09	11,30	4
=C<(ring)	46,43	54,05	2
>C<	82,23	116,02	1
=CO-	133,22	-120,50	3
-O- (nonring)	-132,22	-105	2
-OH	-208,04	-189,2	1

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^0 \text{ Alkyd Resin} &= 2 [ (1 \times (-76,45)) + (15 \times (-20,64)) + (4 \times 2,09) + \\
 &\quad (2 \times 46,43) + (1 \times 82,23) + (3 \times 133,22) + (2 \times (- \\
 &\quad 132,22) + (1 \times (-208,04)) ] \\
 &= 2 [-76,45 + (-309,6) + 8,36 + 92,86 + 82,23 + \\
 &\quad (399,66) + (-264,44) + (-208,04) ] \\
 &= 2 \times (-275,42) \\
 &= \mathbf{-550,84 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 \text{ Alkyd Resin} &= 2 [ (1 \times (-43,96)) + (15 \times 8,42) + (4 \times 11,30) + (2 \times \\
 &\quad 54,05) + (1 \times 116,02) + (3 \times (-120,50)) + (2 \times (- \\
 &\quad 105) + (3 \times (-189,2)) ] \\
 &= 2 [-43,96 + 126,3 + 45,2 + 108,1 + 116,2 + (- \\
 &\quad 361,5) + (-210 + 189,2) ]
 \end{aligned}$$

$$= 2x (-409,04)$$

$$= \mathbf{-816,08 \text{ kJ/mol K}}$$

**Tabel 2.29. Kontribusi Gugus Fungsi untuk Cp Alkyd Resin  
(2 molekul yang sama)**

Gugus	Kapasitas Panas (J/mol K)				
	273 k	298 K	323 K	348 K	373 K
-CH <sub>3</sub> -	40	41,6	43,5	45,8	48,3
-CH <sub>2</sub> -	27,6	28,2	29,1	29,9	31
=CH – (ring)	23,8	24,9	25,7	26,6	28
=C<(ring)	8,4	8,4	8,4	8,4	
>C<	8,4	8,4	8,4	8,4	
=CO-	42,7	43,5	44,4	45,2	46
-O- (nonring)	29,3	29,7	30,1	30,5	31
-OH	33,5	43,9	52,3	61,7	71,1

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \text{Cp Alkyd Resin} &= 2 [ (1 \times 41,6) + (15 \times 28,2) + (4 \times 24,9) + (2 \times \\
 &8,4) + (1 \times 8,4) + (3 \times 43,5) + (2 \times (29,7) + (1 \times \\
 &43,9) ] \\
 &= 2 [41,6 + 423 + 99,6 + 16,8 + 8,4 + 130,5 \\
 &+ 59,4 + 43,9 ] \\
 &= 1646,4 \text{ J/mol K} \\
 &= \mathbf{1,6464 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

b. Alkyd Resin (1 molekul yang berbeda) : [ C<sub>27</sub>H<sub>38</sub>O<sub>5</sub>]

Tabel 2.30. Kontribusi gugus fungsi untuk energi Alkyd

Resin (1 molekul yang berbeda)

Gugus	$\Delta H_f^0$ (kJ/(mol))	$\Delta G^0$ (Kj/mol)	Jumlah (n <sub>i</sub> )
-CH <sub>3</sub>	-76,45	-43,96	1
-CH <sub>2</sub>	-20,64	8,42	14
=CH-	29,89	58,36	3
=CH- (ring)	2,09	11,30	4
=C< (ring)	46,43	54,05	2
=CO-	133,22	-120,50	3
-O- (nonring)	-132,22	-105	3

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \Delta H^{\circ}f \text{ Alkyd Resin} &= (1 \times (-76,45)) + (14 \times (-20,64)) + (3 \times 29,89) \\
 &\quad + (4 \times 2,09) + (2 \times 46,43) + (3 \times 133,22) + (3 \times (-133,22)) \\
 &= -76,45 + (-288,96) + (89,67) + (8,36) + (92,86) + \\
 &\quad (399,66) + (-396,66) \\
 &= \mathbf{-171,52 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^{\circ} \text{ Alkyd Resin} &= (1 \times (-43,96)) + (14 \times 8,42) + (3 \times 58,36) \\
 &\quad + (4 \times 11,30) + (2 \times 54,05) + (3 \times (-120,50)) \\
 &\quad + (3 \times (-105)) \\
 &= -43,96 + 117,88 + 175,08 + (45,2) + (108,1) \\
 &\quad + (-361,5) + (-315) \\
 &= \mathbf{-274,2 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

**Tabel 2.31. Kontribusi gugus fungsi untuk Cp Alkyd Resin  
(1 molekul yang berbeda)**

Gugus	Kapabilitas Panas (J/mol K)				
	273 K	298 K	323 K	348 K	373 K
=CH <sub>3</sub> -	40	41,6	43,5	45,8	48,3
-CH <sub>2</sub> -	27,6	28,2	29,1	29,9	31
=CH-	23,8	24,9	25,7	26,6	28
=CH- (ring)	23,8	24,9	25,7	26,6	28
=C< (ring)	8,4	8,4	8,4	8,4	
=CO-	42,7	43,5	44,4	45,2	46
-O- (non ring)	29,3	29,7	30,1	30,5	31

Sumber: (Reid,1987)

$$\begin{aligned}
 \text{Cp Alkyd Resin} &= (1 \times 41,6) + (14 \times 28,2) + (3 \times 24,9) \\
 &+ (4 \times 24,9) + (2 \times 8,4) + (3 \times 43,5) \\
 &+ (3 \times 29,7) \\
 &= 41,6 + 394,8 + 74,7 + 99,6 + 16,8 + 130,5 + 89,1 \\
 &= 847,1 \text{ J/mol K} \\
 &= \mathbf{0,8471 \text{ kJ/mol K}}
 \end{aligned}$$

➤ **Energi berdasarkan penggunaan Poliol Pentaerythritol**

**Reaksi b**

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f \text{ berdasarkan Pentaerythritol} &= \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} \quad (21) \\
 &= [ \text{AH (Di-Alkyd Resin}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \text{Mono-Alkyd Resin} + \text{Air} ] \\
& - [\text{AH (Digliserida} + \text{Monogliserida} \\
& + \text{Phtalic Anhydride) } ] \\
& = [-550,84 + -171,52 + (3 \times -285,8) ] \\
& - [-1.589,44 + -690,82 + (3 \times \\
& 827,46)] \\
& = -1.870,12 \text{ kJ/mol K}
\end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ \text{ berdasarkan Pentaerythritol} = \Delta G_{\text{produk}} - \Delta G_{\text{reaktan}} \quad (22)$$

$$\begin{aligned}
& = [ \Delta G (\text{Di-Alkyd Resin} + \text{Mono-} \\
& \text{Alkyd Resin} + \text{Air}) - [\Delta G \\
& (\text{Digliserida} + \text{Monogliserida} + \\
& \text{Phtalic Anhydride}) \\
& = [-818,08 + -274,2 + (3 \times -237,13) ] \\
& - [-979,48 + -354,9 + (3 \times 861,28) ] \\
& = -215,09 \text{ kJ/mol K}
\end{aligned}$$

**Tabel 2.32 Perbandingan Kondisi Operasi Dengan Menggunakan  
Poliol Gliserol dan Pentaerythritol**

Parameter	Poliol Gliserol	Poliol Pentaerythritol
Harga Bahan Baku	0,9 \$	1,6 \$
Sumber Bahan Baku	PT. Cisadane Raya Chemical, Indonesia	Impor



Ekonomi Potensial	1,436 \$/kg	1,235 \$/kg
Jenis Reaksi	Eksotermis	Eksotermis
Konversi	92 %	87 %
$\Delta H^0_f$ (kj/mol) (1)	-428,81	-123,09
$\Delta H^0_f$ (kj/mol) (2)	-1781,88	-1870,12
$\Delta G^0$ (kj/mol) (1)	-205,4	-12,24
$\Delta G^0$ (kj/mol) (2)	-3.053,13	-215,09

Dari uraian di atas, dapat kita simpulkan bahwa poliols yang akan digunakan dalam proses ini adalah gliserol dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Harga gliserol yang lebih murah dari pentaerythritol
2. Gliserol tersedia di Indonesia, sedangkan untuk mendapatkan pentaerythritol harus impor dari luar negeri. Hal ini akan menambah biaya transportasi bahan baku yang lebih mahal dan mengurangi keuntungan produksi.
3. Konversi reaksi proses produksi menggunakan gliserol lebih besar.

## 2.6 Uraian Proses Pembuatan Alkyd Resin

### 2.6.1 Tahap Alkoholisis

Proses alkoholisis merupakan proses pembentukan monogliserida yang dihasilkan dari proses pemutusan rantai poli basic acid berupa trigliserida (CPO) oleh poliols gliserol. Dalam proses ini, minyak kelapa sawit (CPO) dan gliserol dimasukkan kedalam reaktor alkoholisis yang sebelumnya

telah dipanaskan di heat exchanger sampai temperatur 260 °C. Proses dijaga pada suhu konstan sehingga terbentuk monogliserida (Onukwuli OD dan Emeka 2015).

Setelah monogliserida terbentuk sempurna temperatur diturunkan menjadi 75 °C untuk dilakukan pemisahan produk hasil reaksi dan reaktan sisa yang tidak bereaksi, pemisahan dilakukan menggunakan dekanter dua fasa, sehingga diperoleh produk atas berupa produk monogliserida dan trigliserida sisa reaksi dan produk tengah berupa gliserol sisa. Produk tengah dan produk bawah dikembalikan ke reaktor alkoholisis sebagai recycle feed.

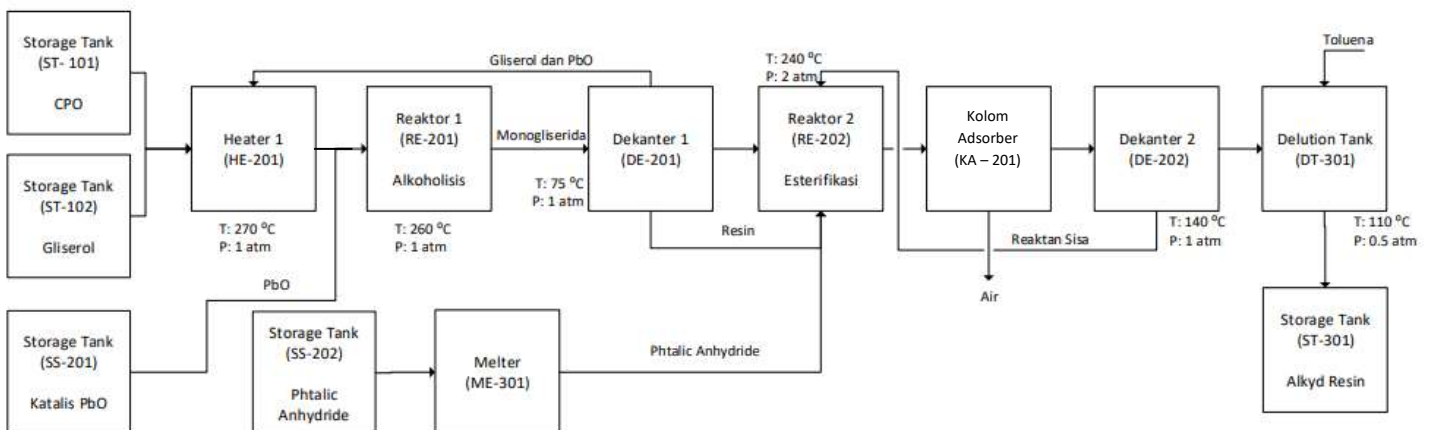
### **2.6.2 Tahap Esterifikasi**

Produk hasil reaksi alkoholisis yang telah dipisahkan berupa monogliserida yang dimasukkan bergandengan dengan trigliserida dinaikan temperaturnya sampai 240 °C sebelum dimasukan ke reaktor kedua yaitu reaktor esterifikasi. Bersamaan dengan itu phtalic anhydride yang sudah dipanaskan kedalam reaktor esterifikasi untuk di reaksi dengan monogliserida membentuk alkyd resin.

Alkyd resin yang keluar dari reaktor mengandung air, dimasukan ke dalam kolom adsorber untuk menghilangkan kandungan air menggunakan adsorben Molecular Sieve 3A. Setelah air diadsorp, produk alkyd resin yang terbentuk dan sisa reaktan diturunkan temperaturnya hingga 75 °C,

selanjutnya dimasukkan ke dalam dekanter untuk dipisahkan dari reaktan sisa.

Kemudian resin diencerkan dengan solvent di dalam dilution tank supaya lebih encer (solvent yang digunakan untuk mengencerkan resin adalah toluen) sehingga resin tersebut dapat mengalir pada suhu kamar agar penanganannya lebih mudah. Resin yang telah diencerkan kemudian di cek spesifikasinya kalau sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan maka sebagian resin di transfer menuju tangki penyimpanan dan siap untuk dijual.

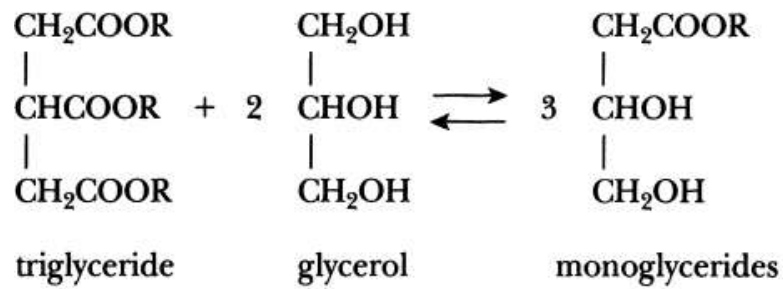


**Gambar 2.6** Diagram Alir Proses Produksi Alkyd Resin dari CPO

## 2.7 Tinjauan Kinetika Reaksi

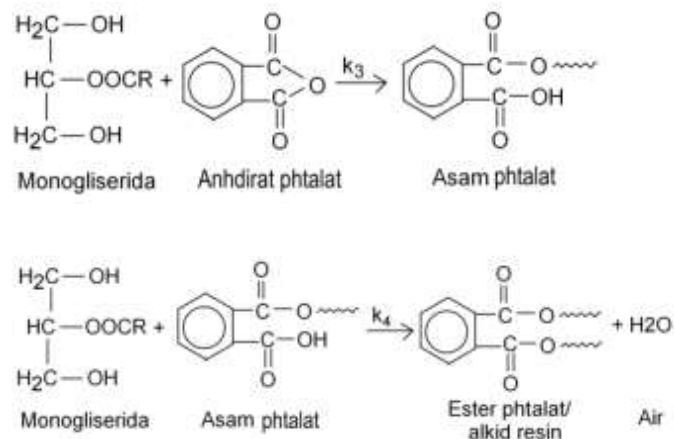
Persamaan reaksi kimia:

Reaksi Alkoholisis:



Trigliserida + Gliserol → Monogliserida

Reaksi Esterifikasi:



Kinetika reaksi dari (Heriyanto *et al.* 2013):

$$r_{EP} = k_1 \cdot C_{OH} \cdot C_{PA}$$

$$r_{EP} = -r_{OH} = -r_{PA} = k_1 \cdot C_{OH} \cdot C_{AP}$$

$$-r_A = k_1 \cdot C_{OH} \cdot C_{AP}$$

Keterangan:

$$-r_{EP} = \text{laju pengurangan asam phtalat persatuan waktu, kmol/m}^3 \cdot \text{jam}$$

$$k = \text{konstanta laju reaksi, m}^3 / \text{kmol} \cdot \text{jam}$$

$$C_{OH} = \text{konsentrasi monogliserida sisa, kmol/m}^3$$

$$C_{PA} = \text{konsentrasi phtalic anhydride sisa, kmol/m}^3$$

Heriyanto, dkk (2011), dapat diketahui konstanta laju reaksi untuk proses

Esterifikasi sebagai berikut:

$$T_{\text{operasi}} = 240^{\circ}\text{C} = 513 \text{ K}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$k_1 = 1,46 \times 10^4 \left( \frac{\text{liter}}{\text{mol menit}} \right) \exp \left( - \frac{8237,7 \text{ kal/mol}}{513 \text{ K} \times 1,98 \text{ kal/mol K}} \right)$$

$$k_1 = 4,38 \text{ (liter/mol.menit)}$$

$$k_1 = \mathbf{0,04 \text{ (m}^3\text{/kmol.menit)}}$$

Sedangkan untuk proses Alkoholisis, konstanta laju reaksinya adalah

sebagai berikut:

$$T_{\text{operasi}} = 260^{\circ}\text{C} = 523 \text{ K}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.k}$$

$$k_1 = 2,13 \times 10^9 \left( \frac{\text{liter}}{\text{mol menit}} \right) \exp \left( - \frac{14142 \text{ kal/mol}}{523 \text{ K} \times 1,98 \text{ kal/mol K}} \right)$$

$$k_1 = 2496,74 \text{ (liter/mol.menit)}$$

$$k_1 = \mathbf{24,96 \text{ (m}^3\text{/kmol.menit)}}$$

### **BAB III**

#### **SPESIFIKASI DAN BAHAN BAKU PRODUK**

#### **3.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Penunjang**

##### **3.1.1 CPO (Trigliserida)**

Rumus Molekul	: $C_{47}H_{88}O_6$
Berat Molekul	: 784,940 kg/kmol
Densitas	: 952 kg/m <sup>3</sup>
Titik Beku	: 18-20 °C
Titik Didih	: 298 °C
Komposisi	: Trigliserida 95% ; Asam lemak 5%
Bentuk	: Liquid (pada suhu kamar)

##### **3.1.2 Gliserol**

Rumus Molekul	: $C_3H_8O_6$
Berat Molekul	: 90,92 kg/kmol
Densitas	: 1,26 g/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	: 17,8 °C
Titik Didih	: 290 °C
Sifat Fisik	: Liquid
Kemurnian	: 100%

### 3.1.3 Phthalic Anhydride

Rumus Molekul	: $C_8H_4(CO)_2O$
Berat Molekul	: 148,12 kg/kmol
Densitas	: 1,2270 g/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	: 131,16 °C
Titik Didih	: 295 °C
Sifat Fisik	: Putih, serbuk kristal
Kemurnian	: 99% 1% air

### 3.1.4 Toluena

Rumus Molekul	: $C_6H_5CH_3$
Berat Molekul	: 92,14 kg/kmol
Densitas	: 866 g/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	: -47,5 °C
Titik Didih	: 137,2 °C – 140,5 °C
Sifat Fisik	: Cairan bening, larut dalam alkohol dan ester
Kemurnian	: 100%

### 3.1.5 Lead Oxide

Rumus Molekul	: PbO
Berat Molekul	: 90 kg/kmol
Densitas	: 9,53 g/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	: 470 °C

Titik Didih	: 888 °C
Sifat Fisik	: Kristal tidak berwarna
Kemurnian	: 90%

### 3.1.6 Molecular Sieve Zeolite 3A

Densitas	: 44-46 g/cm <sup>3</sup>
Kapasitas Adsorpsi	: 22%
Sifat Fisik	: Kristal
Kekuatan	: 10 lb
Ukuran Pori	: 0,3 nm
Keasaman/pH	: 10,5
Kemurnian	: 100%

### 3.1.7 Natrium Hidroksida

Rumus Kimia	: NaOH
Berat Molekul	: 40,0 kg/kmol
Densitas	: 2,13 g/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	: 318 °C
Titik Didih	: 1.388 °C
Keasaman/pH	: 13-14 dalam larutan jenuh
Sifat Fisik	: Serbuk putih
Kemurnian	: 99%



### 3.1.8 Asam Fosfat

Rumus Kimia	: $H_3PO_4$
Berat Molekul	: 98,0 kg/kmol
Densitas	: 1,65 – 1,83 g/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	: 42,35 °C
Titik Didih	: 158 °C
Keasaman/pH	: 1-2 dalam larutan jenuh
Sifat Fisik	: Cairan bening tidak berwarna
Kemurnian	: 98%

## 3.2 Spesifikasi Produk

### 3.2.1 Alkyd Resin

Berat Molekul	: 490 kg/kmol
Densitas	: 1.190 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas	: $0,494 \times 10^{-3}$ (7-10 poise)
Boiling Point	: 260 °C
Panas Spesifik	: 0,915 kal/g °C
Bilangan Asam	: 5 – 10 mg KOH/g resin
Warna	: 5 – 7
Kecerahan	: Jernih
Fasa	: Liquid
Komposisi	: 95% Alkyd resin 5% toluene

## 5.2 Peralatan Utilitas

Peralatan Proses Pabrik terdiri dari:

### 1. Bak Sedimentasi (BS – 01)

**Tabel 5.71 Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS – 401)**

Alat	Bak Sedimentasi
Kode	BS – 401
Fungsi	Mengendapkan lumpur dan kotoran di air sungai sebanyak 28,267 m <sup>3</sup> /jam dengan waktu tinggal 2 jam
Bentuk	Bak <i>Rectangular</i>
Dimensi	Panjang : 7,032 m Lebar : 1,758 m Kedalaman : 4,571 m
Jumlah	1 Buah

=====

## 2. Tangki Alum (ST – 401)

**Tabel 5.72. Spesifikasi Tangki Alum (ST – 401)**

Alat	Tangki Alum	
Kode	TP - 401	
Fungsi	Menyiapkan dan menyimpan larutan alum 26% v/v selama 3 hari untuk diinjeksikan ke dalam CL – 401	
Bentuk	Silinder tegak (vertikal) dengan <i>flat bottom</i> dan <i>head</i> berbentuk <i>conical</i> .	
Bahan Kontruksi	<i>Carbon Steel SA-283</i>	
Dimensi <i>Shell</i>	Diameter	3,047 m
	Tinggi Standar	3,657 m
	Tebal Dinding Shell	1 1/4 in
Dimensi <i>Head</i>	Tinggi	1,705 m
	Tebal	0,1875 in
Tinggi Tangki	5,363 m	
Tekanan	17,069 psi	

=====

## BAB X

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 10.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Alkyd Resin dari Minyak Kelapa Sawit dan Gliserol dengan Kapasitas 30.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak 14,84 % dan sesudah pajak 11,87 %.
2. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak 2,92 tahun dan sesudah pajak 3,8 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 38,60% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 30 – 60% kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 22,86 %, yakni batasan kapasitas produksi 20 – 30% sehingga pabrik masih dapat berproduksi karena mendapat keuntungan.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 69,9%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

## 10.2 Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan diatas, Prarancangan Pabrik Alkyd Resin dari Minyak Kelapa Sawit dan Gliserol dengan Kapasitas 30.000 ton/tahun diharapkan segera dicarikan investor untuk didirikan karena memiliki potensi yang cukup baik.

## DAFTAR PUSTAKA

Aidha NN, Jati BN. 2017. Komparasi Kualitas Cat Alkid Menggunakan Pelarut

Pelarut Di Industri Cat. *J. Kim. dan Kemasan*. 39(2):87–94.

Aries, R.S., and Newton, R.d., 1995, "Chemical Engineering Cost Estimation",

McGraw Hill Company, New York

Bachus, L and Custodio, A. 2003. Know and Understand Centrifugal Pumps.

Bachus Company, Inc. Oxford: UK.

Banchero, Julius T., and Walter L. Badger. 1988. Introduction to Chemical

Engineering. McGraw Hill : New York.

bpsdm.pu.go.id diakses pada 09 September 2023

Brown, G.George. 1950. Unit Operation 6ed. Wiley & Sons; USA.

Brown.G.George., 1956, Unit Operation 6ed, Wiley & Sons, USA.

Brownell.L.E. and Young.E.H., 1979, Process Equipment Design 3ed, John Wiley

& Sons, New York.

Brownell.L.E. and Young.E.H, 1959, Process Equipment Design 3ed, John Wiley

& Sons, New York.

Cheremisinoff, N.P. 2002. Handbook of Water and Wastewater Treatment

Technologies. Butterworth-Heinemann: USA

Coulson.J.M. and Ricardson.J.F., 1989, Chemical Engineering vol 6, Pergamon  
Press Inc, New York

Coulson.J.M. and Ricardson.J.F., 1983, Chemical Engineering vol 6, Pergamon  
Press Inc, Oxford

Elliott WT. 2018. Alkyd Resins. *Chem. Resist. Thermosets.*:1006–  
1014.doi:10.1016/b978-0-12-814480-0.00007-7.

Erickson DR. 1995. *Degumming and Lecithin Processing and Utilization*. AOCS  
Press.

E Patent CN107033311A. Toluene di-isocyanate (TDI) modified alkyd resin and  
preparation method. Agustus 2017.

Environment and Natural Resources Research Vol. 3 No.3. ISSN 1927-0488.  
Formation and Characterization of Paint Based on Alkyd Resin Derivative  
of Ximenia Americana (Wild Olive) Seed Oil. 2013

Fogler, S. 1965. Elements of Chemical Reaction Engineering. New  
Jersey: Prentice Hall, Inc.

Fogler, H.S., 1999, Elements of Chemical Reaction Engineering, 3rd edition,  
Prentice Hall P.T.R, New Jersey

Geankopolis, Christie J. 1993. Transport Processes and Unit Operations 3 rd  
edition. Prentice Hall : New Jersey.

Heilig ML. 1994. United States Patent Office. *ACM SIGGRAPH Comput. Graph.* 28(2):131–134.doi:10.1145/178951.178972.

Heriyanto H, Budiman A, Kimia JT, Teknik F, Sultan U, Tirtayasa A, Kimia JT, Teknik F, Mada UG. 2013. Kinetika Reaksi Alkyd Resin Termodifikasi Minyak Jagung dengan Asam Phtalat Anhidrat. *J. Rekayasa Proses.* 5(1):1–9.

Himmeblau, David, 1996, Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering, Prentice Hall Inc, New Jersey.

Hougen, Olaf A., Watson, Kenneth M. 1947 .“Chemical Process Principles”. New York : John Wiley & Sons, Inc

<https://www.bps.go.id>, diakses pada 13 April 2023

<https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/transaksi-bi/kalkulator-kurs.aspx>, diakses pada 10 Oktober 2023

<https://kemenperin.go.id/direktori-perusahaan?what=cat&prov=35>, diakses pada 13 April 2023

<http://www.matche.com>, diakses tanggal 01 Oktober 2023.

<http://www.chemengonline.com/pci/>, diakses tanggal 01 Oktober 2023

Igbo UE, Igwe CC, Akubueze E, Ishiola OR, Odusote AO, Oyewole AO. 2014. Utilisation of Beniseed Oil for the Production of Alkyd Resin. *IOSR J. Appl. Chem.* 7(5):104–106.doi:10.9790/5736-0753104106.



IOSR Journal of Applied Chemistry No. 2278-5736. Utilisation of Beniseed Oil

For The Production of Alkyd Resin. Mei 2014.

Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia, UU No. 41 Tahun 1999 Pada pasal 15 ayat 2, Tentang Larangan Praktek Monopoli Dan Persaingan Usaha Tidak Sehat.

Joshi, M.V. 1987. Process Equipment Design

Kern.D.Q., 1983, Process Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, New York.

Kern.D.Q., 1965, Process Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, New York.

Levenspiel,O,1999, "Chemical Reaction Engineering", 3rd edition. John Wiley

Lin CY, Ma L. 2021. Comparison of water-removal efficiency of molecular sieves vibrating by rotary shaking and electromagnetic stirring from feedstock oil for biofuel production. *Fermentation*.

7(3).doi:10.3390/fermentation7030132.

and Sons : New York

Ludwig E. Ernest., 1984, Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants vol II, Gulf Publishing Company, Houston.

McCabe, W. L. & Smith, J. M., 1999. Unit Operation of Chemical Engineering, 4th ed., McGraw Hill Book Company, Singapore.

McCabe W.L. and Smith J.C., 1985, Operasi Teknik Kimia, Erlangga, Jakarta.

Megyesy.E.F., 1983, Pressure Vessel Handbook, Pressure Vessel Handbook  
Publishing Inc, USA.

Missen, R.W., Mims. C.A., &Saville, B. A., 1999, “Introduction to Chemical  
Reaction Engineering and Kinetics”, John Wiley and Sons Inc, USA

Meliana N, Harnesa Putri S, Mardawati E. 2019. Optimasi Kondisi Acid  
Degumming Pada Proses Produksi Lesitin Dari Cpo. *J. Ind. Pertan.*  
01(03):70–76.

Moss, Dennis R., 2004. Pressure Vessel Design Manual 3rd Edition. Elsevier  
Publishing Inc., USA

Onukwuli OD UC, Emeka M. 2015. Kinetics of Castor Oil Alkyd Resin  
Polycondensation Reaction. *J. Chem. Eng. Process Technol.*  
06(04).doi:10.4172/2157-7048.1000240.

Peter, M.S., and Timmerhans, E.D., 1980, Plant Design and Economics for  
Chemical Engineers, 3rded., Mc Graw Hill Book Company,  
Singapore.

Peter.M.S. and Timmerhause.K.D, 1991, Plant Design an Economic for Chemical  
Engineering 3ed, McGraww-Hill Book Company, New York.

Perry.R.H. and Green.D, 1997, Perry’s Chemical Engineer Handbook 7th ed ,  
McGraw-Hill Book Company, New York.

Perry.R.H. and Green.D, 1973, Perry's Chemical Engineer Handbook 5th ed ,  
McGraw-Hill Book Company, New York.

Powell, S.T., 1954, "Water Conditioning for Industry", McGraw-Hill Book  
Company, Tokyo.

Putri DO, Mardawati E, Putri SH, Frank D. 2019. Perbandingan Metode  
Degumming CPO (Crude Palm Oil) terhadap Karakteristik Lesitin yang  
Dihasilkan. *J. Ind. Pertan.* 1(3):88–94.

Reid, C., Prausnitz, J.M. 1987. The Properties of Gases and Liquids. Ed. 4th. Mc  
Graw-Hill. New York.

Rase, H.F., 1977, Chemical Reactor Design for Process Plant, John Willey and  
Sons Inc., New York.

Richard D., O'Brien., Fat and Oil., New York: CRC Press., 2009

Research Journal in Engineering and Applied Sciences No. 2276-8467. Synthesis  
and Characterization of Palm Oil Based Air Drying Alkyd Resin For  
Surface Coating. 2013.

Ronald W. Rousseau. 1987. Handbook of Separation Process Technology. John  
Wiley and Sons Inc., New York

Sandler, S. R., 1994. Polymer Syntheses, second ed.,157-187, Academic Press,  
Inc., California.

S. Ketaren. (1986). Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan, Jakarta : UI Press

Smith. J.M. and Van Ness. H. C., 2001, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup>, McGraww-Hill Inc, New York.

Swern, D. 1979. Bailey's Industrial Oil and Fat Product. New York: John Willey and Sons, Interscience Publication.

United States Patent No. 3.586.653 A. Process of Manufacturing Alkyd Resins From Unsaturated Fatty Acid, Phthalic Anhydrides and Glycidol. Juni 1971.

Ulrich.G.D., 1984, A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. John Wiley & Sons Inc, New York.

Van Gerpen J. 2005. Biodiesel processing and production. *Fuel Process. Technol.* 86(10):1097–1107.doi:10.1016/j.fuproc.2004.11.005.

Wallas. S.M., 1988, Chemical Process Equipment, Butterworth Publishers, Stoneham USA.

Walas, S.M., 1990. Chemical Process Equipment. 3rd ed. Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering, USA.

[www.atbbatam.com](http://www.atbbatam.com) diakses pada 09 September 2023

[www.ocw.ui.ac.id](http://www.ocw.ui.ac.id) diakses pada 09 September 2023

[www.jurnal.um-palembang.ac.id](http://www.jurnal.um-palembang.ac.id). diakses pada 09 September 2023

[www.water.me.vccs.edu](http://www.water.me.vccs.edu), diakses pada 13 September 2023

[www.icispricing.com](http://www.icispricing.com), diakses pada 20 April 2023

Yaws, C.L., 1999, Chemical Properties Handbook, Mc Graw Hill Book Co., New York