

LAPORAN CAPSTONE DESIGN II
PRARANCANGAN PABRIK GLISEROL MONOSTEARAT
DARI ASAM STEARAT DAN GLISEROL
KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN

**Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Strata Satu Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik**



Oleh:
Risya Nurhidayati 27210348D

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA
2025

LEMBAR PENGESAHAN

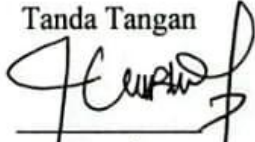
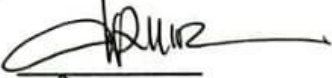
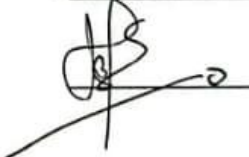
LAPORAN *CAPSTONE DESIGN* II

PRARANCANGAN PABRIK GLISEROL MONOSTEARAT DARI ASAM STEARAT DAN GLISEROL KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN

Oleh:

Risya Nurhidayati 27210348D

Telah Dipertahankan Oleh Tim Penguji
Pada tanggal 30 Juli 2025

	Nama	Tanda Tangan
Penguji I	: Ir. Sumardiyono, M.T.	
Penguji II	: Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.	
Penguji III	: Argoto Mahayana, S.T., M.T.	
Penguji IV	: Dr. Supriyono, S.T., M.T.	

Mengetahui,



Dr. Drs. Suseno, M.Si.
NIS. 01199408011044

Ketua Program Studi S1 Teknik
Kimia



Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.
NIS. 01199601032053

LEMBAR PERSETUJUAN
LAPORAN CAPSTONE DESIGN II
PRARANCANGAN PABRIK GLISEROL MONOSTEARAT
DARI ASAM STEARAT DAN GLISEROL
KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN

Oleh:
Risya Nurhidayati 27210348D

Telah disetujui oleh Pembimbing

Pada tanggal.....25 Juli 2024.....

Pembimbing I



Dr. Sapriyono, S.T., M.T.
NIS. 01199508011049

Pembimbing II



Argoto Mahayana, S.T., M.T.
NIS. 01199906201069

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.
NIS. 01199601032053

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN DOKUMEN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Risya Nurhidayati

NIM : 27210348D

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya *Capstone Design II* berikut adalah benar hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan karya ciptaan pihak lain manapun serta tidak bertentangan dengan karya cipta pihak lain.
2. Jika ternyata di kemudian hari Hasil Karya *Capstone Design II* tersebut terbukti bertentangan dengan hak cipta pihak lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan secara hukum.

Demikian Pernyataan Keaslian Hasil Karya *Capstone Design II* ini saya buat dengan sebenarnya untuk menghindari adanya klaim pihak lain terhadap karya tersebut serta untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 11 Agustus 2025



Risya Nurhidayati

MOTTO

“Susungguhnya Bersama Kesulitan Ada Kemudahan”
(Q.S. Al-Insyirah: 5)

“Terlambat Bukan Berarti Gagal, Cepat Bukan Berarti Hebat.
Terlambat Bukan Menjadi Alasan Untuk Menyerah, Setiap Orang
Memiliki Proses Yang Berbeda. **PERCAYA PROSES** Itu Yang Paling
Penting, Karena Allah Telah Mempersiapkan Hal Baik Dibalik Kata
Proses Yang Kamu Anggap Rumit”
(Edwar Satria)

“Selalu Ada Harga Dalam Sebuah Proses Nikmati Saja Lelah-Lelah Itu.
Lebarkan Lagi Rasa Sabar Itu. Semua Yang Kamu Investasikan Untuk
Menjadikan Dirimu Serupa Yang Kau Impikan. Mungkin Tidak Akan
Selalu Berjalan Lancar. Tapi, Gelombang-Gelombang Itu Yang Nanti
Bisa Kau Ceritakan”
(Boy Chandra)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT. Yang telah memberikan nikmat yang sangat luar biasa memberi saya kekuatan, membekali saya dengan ilmu pengetahuan. Atas segala perjuangan saya hingga titik ini, saya persembahkan teruntuk orang-orang hebat yang selalu menjadi penyemangat, menjadi alasan saya kuat sehingga bisa menyelesaikan *Capstone Design II* ini.

1. Teristimewa kedua orang tua saya, Bapak Sukarmin yang telah menjadi motivator terbaik dalam kehidupan saya sehingga saya bisa menyelesaikan pendidikan, dan Ibu Siti Maryam saya ucapkan terimakasih atas jasa, iringan doa dan penyemangat yang tak henti-hentinya diberikan dalam mengiringi setiap langkah perjalanan dalam menyelesaikan pendidikan sampai jenjang ini, semoga rahmat Allah SWT selalu mengiringi kehidupanmu yang barokah dan senantiasa diberikan kesehatan.
2. Irvan Muarifin, Riska Nurkhofifah, Sarifatul Munawaroh, kakak dan adik kandung saya, serta kakak ipar saya Wahyu Viorena Marsita. Terimakasih banyak atas dukungannya secara moril maupun materil, terimakasih juga atas segala motivasi dan dukungannya yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
3. Aqmar Rasyafa Arifin keponakan tercinta, terimakasih atas kelucuan-kelucuan yang membuat penulis semangat dan senang, sehingga penulis semangat untuk menyelesaikan *Capstone Design* ini.
4. Dosen pembimbing *Capstone Design* saya Bapak Dr. Supriyono, S.T., M.T. dan Bapak Argoto Mahayana, S.T., M.T. terimakasih atas bimbingan, kritik dan saran serta telah banyak meluangkan waktu, dengan sangat sabar dan pengertian dalam membantu proses pengerjaan skripsi saya ini. Menjadi salah satu dari anak bimbingan Bapak merupakan nikmat yang sampai saat ini saya syukurkan. Terimakasih banyak saya ucapkan, semoga jerih payah Bapak terbayarkan dan selalu dilimpahkan Kesehatan.
5. Terakhir, terimakasih kepada wanita sederhana yang memiliki impian besar, namun terkadang sulit dimengerti isi kepalanya, yaitu diriku sendiri, Risya Nurhidayati. Terimakasih telah berusaha keras untuk meyakinkan dan menguatkan diri sendiri

bahwa kamu mampu menyelesaikan studi ini sampai selesai. Berbahagialah selalu dengan dirimu. Rayakan kehadiranmu sebagai berkah dimanapun kamu menjejakkan kaki. Jangan sia-siakan usaha dan doa yang selalu kamu langitkan. Allah telah merencanakan dan memberikan porsi terbaik untuk perjalanan hidupmu. Semoga langkah kebaikan selalu menyertaimu. Dan semoga Allah selalu meridhai setia langkahmu serta menjagamu dalam lindungan-Nya. Aamiin.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang Maha Berkuasa atas segala hal, atas seluruh limpahan rahmat dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan *Capstone Design II* yang berjudul “Prarancangan Pabrik Gliserol Monostearat Dari Asam Stearat Dan Gliserol Kapasitas 12.000 Ton/Tahun” ini diwaktu yang tepat. Shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik untuk umat manusia. *Capstone Design II* ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Setia Budi.

Dalam penyelesaian studi dan penulisan *Capstone Design II* ini, penulis banyak mendapatkan pembelajaran, bimbingan dan motivasi. Penulis juga menyadari selesainya *Capstone Design II* ini karena bantuan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang sudah memberikan do’a dan semangat kepada penulis. Sehingga, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. Karena atas pertolongan-Nya, penulis mampu menyelesaikan Laporan *Capstone Design II* ini dengan baik.
2. Dr. Djoni Tarigan, MBA. Selaku Rektor Universitas Setia Budi.
3. Dr. Drs. Suseno, M.Si. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi.
4. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng. Selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Kimia Universitas Setia Budi.
5. Dr. Supriyono, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing I yang membantu membimbing dalam penyusunan laporan *Capstone Design II* ini.
6. Argoto Mahayana, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing II yang membantu membimbing dalam penyusunan laporan *Capstone Design II* ini.
7. Ir. Sumardiyono, M.T. Selaku Dosen Penguji I dalam menguji laporan *Capstone Design II* ini.
8. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Penguji II dalam menguji laporan *Capstone Design II* ini.
9. Orang tua dan saudara yang telah memberikan dukungan dan do’a selama awal perkuliahan hingga dapat menyelesaikan laporan *Capstone Design II*.

10. Teman-teman Program Studi S1 Teknik kimia Angkatan 21 yang selalu memberikan semangat dan semua pihak yang turut serta mendukung dalam penyusunan laporan *Capstone Design II* ini.

Penulis mengucapkan terima kasih dan mohon maaf atas segala kekurangan dalam laporan *Capstone Design II* ini. Kritik dan saran yang bersifat membangun penulis terima dari pembaca, semoga laporan prarancangan pabrik ini dapat bermanfaat untuk penulis dan pembaca kedepannya.

Surakarta, 11 Agustus 2025

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Risya Nurhidayati', written in a cursive style.

Risya Nurhidayati

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN DOKUMEN.....	iv
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik.....	1
1.2 Perbandingan Proses	4
1.2.1 Proses Esterifikasi	4
1.2.2 Proses Trans-esterifikasi	5
1.3 Data Perancangan	7
1.3.1 Persamaan reaksi, kondisi operasi, mekanisme reaksi	7
1.3.2 Tinjauan Kinetika	8
1.3.3 Tinjauan Termodinamika	9
BAB II PERANCANGAN PRODUK	12
2.1 Spesifikasi Bahan Baku Utama	12
2.1.1 Asam Stearat	12
2.1.2 Gliserol	12
2.2 Spesifikasi Bahan Baku Pendukung.....	13
2.2.1 Natrium Hidroksida.....	13
2.2.2 Asam Fosfat	13
2.3 Spesifikasi Produk.....	14
2.3.1 Gliserol Monostearat	14
2.4 Pengendalian Kualitas.....	15
2.4.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku	15
2.4.2 Pengendalian Kualitas Proses	15
2.4.3 Pengendalian Kualitas Produk	16
BAB III PERANCANGAN PROSES.....	16
3.1 Uraian Proses.....	17

3.2	Diagram Alir Kualitatif	19
3.3	Neraca Massa dan Energi.....	20
3.3.1	Neraca Massa	20
3.3.1.1	Neraca Massa di Mixer (M-01).....	20
3.3.1.2	Neraca Massa di Mixer (M-02).....	20
3.3.1.3	Neraca Massa di Reaktor (R-01).....	21
3.3.1.4	Neraca Massa di Menara Distilasi (MD-01)	21
3.3.1.5	Neraca Massa di <i>Flash Drum</i> (FD-01)	21
3.3.1.6	Neraca Massa di <i>Neutrallizer</i> (N-01).....	22
3.3.1.7	Neraca Massa di Decanter (DC-01)	22
3.3.1.8	Neraca Massa di <i>Crystallizer</i> (CR-01).....	22
3.3.1.9	Neraca Massa di <i>Centrifuge</i> (CF-01)	23
3.3.1.10	Neraca Massa di <i>Ball Mill</i> (BM-01)	23
3.3.1.11	Neraca Massa di <i>Screener</i> (SC-01).....	23
3.3.2	Neraca Panas	24
3.3.2.1	Neraca Panas di Heater (E-01).....	24
3.3.2.2	Neraca Panas di Heater (E-02).....	25
3.3.2.3	Neraca Panas di Heater (E-03).....	25
3.3.2.4	Neraca Panas di Heater (E-03).....	25
3.3.2.5	Neraca Panas di Reaktor (R-01).....	26
3.3.2.6	Neraca Panas di Menara Distilasi (MD-01)	26
3.3.2.7	Neraca Panas di Cooler (E-11).....	26
3.3.2.8	Neraca Panas di Cooler (E-12).....	27
3.3.2.9	Neraca Panas di Cooler (E-13).....	27
3.3.2.10	Neraca Panas di Cooler (E-14).....	27
3.3.2.11	Neraca Panas di Cooler (E-15).....	28
3.3.2.12	Neraca Panas di Cooler (E-16).....	28
3.4	Diagram Alir Kuantatif	29
3.5	Spesifikasi Alat Proses.....	30
3.5.1	Spesifikasi Alat Utama.....	30
3.5.1.1	Tangki Penyimpanan.....	30
3.5.1.2	Silo (S-01).....	32
3.5.1.3	<i>Mixer</i> (M-01).....	32
3.5.1.4	<i>Mixer</i> (M-02).....	33
3.5.1.5	<i>Heater</i> (E-01)	34
3.5.1.6	<i>Heater</i> (E-02)	34

3.5.1.7	Reaktor (R-01)	35
3.5.1.8	Menara Distilasi (MD-101).....	35
3.5.1.9	<i>Flash Drum</i> (FD-01)	36
3.5.1.10	<i>Neutrallizer</i> (N-01)	37
3.5.1.11	<i>Decanter</i> (DC-01)	37
3.5.1.12	<i>Crystallizer</i> (CR-01)	38
3.5.1.13	<i>Centrifuge</i> (CF-01).....	38
3.5.1.14	<i>Ball Mill</i> (BM-101)	39
3.5.1.15	<i>Screener</i> (SC-101).....	39
3.5.2	Spesifikasi Alat Pendukung	39
3.5.2.1	<i>Heater</i> (E-03)	39
3.5.2.2	<i>Cooler</i> (E-11)	40
3.5.2.3	<i>Cooler</i> (E-12)	40
3.5.2.4	<i>Cooler</i> (E-13)	41
3.5.2.5	<i>Cooler</i> (E-14)	42
3.5.2.6	<i>Cooler</i> (E-15)	42
3.5.2.7	<i>Cooler</i> (E-16)	43
3.5.2.8	Pompa (P-01)	43
3.5.2.9	Pompa (P-02)	44
3.5.2.10	Pompa (P-03)	44
3.5.2.11	Pompa (P-04)	45
3.5.2.12	Pompa (P-05)	45
3.5.2.13	Pompa (P-06)	45
3.5.2.14	Pompa (P-07)	46
3.5.2.15	Pompa (P-08)	46
3.5.2.16	Pompa (P-09)	47
3.5.2.17	Pompa (P-10)	47
3.5.2.18	Pompa (P-11)	48
3.5.2.19	<i>Screw conveyor</i> (SR-01).....	48
3.5.2.20	<i>Screw Conveyor</i> (SR-02).....	48
3.5.2.21	<i>Belt Conveyor</i> (BE-01).....	49
3.5.2.22	<i>Belt Conveyor</i> (BE-02).....	49
3.5.2.23	<i>Bucket elevator</i> (BC-01)	49
BAB IV PERANCANGAN PABRIK.....		51
4.1	Lokasi Pabrik.....	51
4.1.1	Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik	51
4.1.2	Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik	51
4.2	Tata Letak Pabrik dan Alat Proses.....	53

4.3	Utilitas	57
4.3.1	Unit Pengadaan Air	57
4.3.2	Kebutuhan Dowtherm	59
4.3.3	Unit Pengadaan Listrik.....	59
4.3.4	Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	61
4.3.5	Unit Pengadaan Udara Tekan.....	61
4.3.6	Spesifikasi Alat Utilitas.....	62
4.3.7	Spesifikasi Pompa Utilitas.....	68
4.3.8	Spesifikasi Kompresor	75
4.4	Unit Pengolahan Limbah	75
4.4.1	Pengolahan limbah sanitasi	75
4.4.2	Pengolahan limbah dari <i>heavy component</i> Decanter dan Centrifuge	75
4.4.3	Spesifikasi Filter Press	76
4.5	Analisis Ekonomi	76
4.5.1	Perkiraan Harga Alat.....	79
4.5.2	Total Capital Investment	80
4.5.3	Total Production Cost	81
4.5.4	Analisa Resiko Pabrik	82
4.5.5	Analisa Kelayakan	82
BAB V KESIMPULAN		88
DAFTAR PUSTAKA.....		89
LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA		91
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN NERACA PANAS		100
LAMPIRAN 3 DESAIN REKTOR		105
LAMPIRAN 4 <i>PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM</i>		114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik data impor GMS di Indonesia (eksponensial)	3
Gambar 1. 2 Alur proses esterifikasi	4
Gambar 1. 3 Alur proses trans-esterifikasi	6
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif.....	19
Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantatif.....	29
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Pabrik	51
Gambar 4. 2 Layout Pabrik.....	54
Gambar 4. 3 Tata Letak Alat Proses.....	56
Gambar 4. 4 Diagram Alir Utilitas	74
Gambar 4. 5 Grafik Cost Index	79
Gambar 4. 6 Grafik BEP dan SDP	87
Gambar L.4. 1Process Engineering Flow Diagram.....	114

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor GMS di Indonesia	2
Tabel 1. 2 Kapasitas pabrik yang sudah berdiri	3
Tabel 1. 3 Perbandingan proses GMS	7
Tabel 1. 4 Data Heat Capacity.....	9
Tabel 4. 1 Luas Bangunan Pabrik.....	55
Tabel 4. 2 Kebutuhan Air Proses.....	57
Tabel 4. 3 Kebutuhan Air Pendingin.....	57
Tabel 4. 4 Kebutuhan Air Sanitasi	58
Tabel 4. 5 Kebutuhan Air Hydrant	59
Tabel 4. 6 Total Kebutuhan Air.....	59
Tabel 4. 7 Kebutuhan Listrik Alat Proses	60
Tabel 4. 8 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas	60
Tabel 4. 9 Index Harga Alat	79
Tabel 4. 10 Physycal Plant Cost (PPC)	80
Tabel 4. 11 Direct Plant Cost (DPC)	80
Tabel 4. 12 Fixed Capital Investment (FCI).....	80
Tabel 4. 13 Working Capital Investment	81
Tabel 4. 14 Direct Manufacturing Cost.....	81
Tabel 4. 15 Indirect Manufacturing.....	81
Tabel 4. 16 Fixed Manufacturing Cost.....	81
Tabel 4. 17 General Expense.....	82
Tabel 4. 18 Fixed Cost (Fa).....	85
Tabel 4. 19 Variabel Cost (Va).....	85
Tabel 4. 20 Reguleted Cost (Ra)	85
Tabel 4. 21 Sales Value (Sa)	85

ABSTRAK

Gliserol Monostearat merupakan senyawa ester yang sering digunakan dalam berbagai industri, terutama dalam industri makanan, kosmetik, farmasi, dan produk-produk kimia lainnya. Produksi Gliserol Monostearat (GMS) dalam negeri sangat rendah dan belum memenuhi permintaan pasar Indonesia yang cukup besar sehingga berpeluang untuk mendirikan pabrik Gliserol Monostearat (GMS) di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan pabrik Gliserol Monostearat ini dirancang kapasitas produksi sebesar 12.000 ton/tahun menggunakan bahan baku Asam Stearat dan Gliserol dengan katalis berupa NaOH melalui reaksi esterifikasi. Proses produksi dilakukan menggunakan reaktor *batch* pada kondisi operasi tertentu, yaitu tekanan 3,4 atm dan suhu 250°C. Reaksi berlangsung dalam fasa cair, dengan konsentrasi Asam Stearat sebesar 92% dan Gliserol 99,7%. Produk utama, Gliserol Monostearat dipisahkan melalui Menara Distilasi dengan konsentrasi akhir 95%, sementara produk samping berupa Gliserol dan air diolah lebih lanjut untuk meminimalkan limbah. Pabrik ini direncanakan berlokasi di Kawasan Industri Tuban (KIT), Jawa Timur dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, transportasi, Sumber Daya Manusia (SDM), dan pemasaran. Pabrik beroperasi selama 330 hari per tahun dengan kebutuhan utilitas meliputi air, listrik, dan bahan bakar. Analisis ekonomi menunjukkan nilai investasi awal sebesar Rp 862.068.789.043,40 dengan ROI sebesar 19,40%, POT selama 3,4 tahun, BEP sebesar 46,43% dengan SDP 21,58%, dan *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) sebesar 19,34%. Maka berdasarkan hasil dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa pabrik Gliserol Monostearat dengan kapasitas 12.000 ton/tahun ini layak secara teknis dan ekonomis untuk direalisasikan.

Kata Kunci: Gliserol Monostearat, Asam Stearat, Gliserol, NaOH, Esterifikasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Gliserol monostearat merupakan senyawa ester yang sering digunakan dalam berbagai industri, terutama dalam industri makanan, kosmetik, farmasi, dan produk-produk kimia lainnya. Gliserol Monostearat (GMS) diproduksi melalui reaksi esterifikasi antara asam stearat (asam lemak jenuh yang banyak terdapat pada lemak hewani dan nabati) dengan gliserol (*glycerin*). Proses ini menghasilkan produk yang memiliki sifat emulsifier, yang memungkinkan campuran bahan-bahan yang tidak larut dalam air dapat tercampur secara homogen. Kebutuhan Gliserol Monostearat (GMS) akan semakin meningkat seiring dengan berkembangnya industri makan yang berfokus pada kualitas dan kestabilan produk, serta meningkatnya permintaan terhadap produk kosmetik dan farmasi yang lebih aman dan alami.

Asam stearat, yang merupakan senyawa asam lemak jenuh, dapat diperoleh dari sumber alami yang melimpah, baik dari minyak nabati (seperti minyak kelapa sawit, minyak kedelai) maupun lemak hewani. Ketersediaan bahan baku ini menjadikan produksi Gliserol Monostearat (GMS) lebih efisien dan berkelanjutan, dengan biaya bahan baku yang relatif stabil. Hal ini memberikan keuntungan kompetitif bagi pabrik yang memproduksi Gliserol Monostearat (GMS).

Gliserol monostearat(GMS) memiliki peran penting dalam industri makanan, terutama sebagai emulsifier untuk menggabungkan bahan-bahan yang berbeda, seperti minyak dan air, yang secara alami tidak dapat tercampur. Emulsifier ini digunakan dalam berbagai produk seperti margarin, es krim, kue, dan saus. Selain itu, Gliserol Monostearat (GMS) juga digunakan untuk meningkatkan tekstur, stabilitas, dan umur simpan produk. Seiring dengan berkembangnya industri makanan yang lebih berorientasi pada kualitas dan kestabilan produk, permintaan terhadap Gliserol Monostearat (GMS) terus meningkat.

Pengembangan industri hilir dari bahan baku minyak nabati atau lemak hewani juga dapat menambah nilai tambah ekonomi serta meningkatkan daya saing produk Indonesia di pasar global. Pasar

untuk Gliserol Monostearat (GMS) diperkirakan akan terus berkembang seiring dengan meningkatnya kesadaran konsumen akan pentingnya kualitas produk, serta tren penggunaan bahan-bahan alami dan ramah lingkungan. Gliserol Monostearat (GMS) yang berasal dari asam stearat (dari sumber nabati atau hewani) menjadi pilihan yang lebih menarik dibandingkan dengan bahan kimia sintetis, yang semakin dicari dalam upaya memenuhi standar keberlanjutan. Selain itu, banyak negara yang memperkenalkan kebijakan untuk mendorong penggunaan produk ramah lingkungan dan berkelanjutan, memberikan peluang lebih besar bagi industri ini untuk berkembang.

Produksi Gliserol Monostearat (GMS) dalam negeri sangat rendah dan belum memenuhi permintaan pasar Indonesia yang cukup besar sehingga berpeluang untuk mendirikan pabrik Gliserol Monostearat (GMS) di Indonesia. Pendirian pabrik dilakukan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pendirian pabrik Gliserol Monostearat (GMS) ini direncanakan akan dibangun pada tahun 2026-2029 dan beroperasi pada tahun 2030. Pendirian pabrik ini diharapkan memberikan keuntungan sebagai berikut:

1. Mengurangi ketergantungan impor Gliserol Monostearat (GMS)
2. Memenuhi kebutuhan bahan baku Gliserol Monostearat (GMS) bagi pabrik-pabrik di Indonesia
3. Menciptakan lapangan pekerjaan sehingga dapat menurunkan angka pengangguran di Indonesia

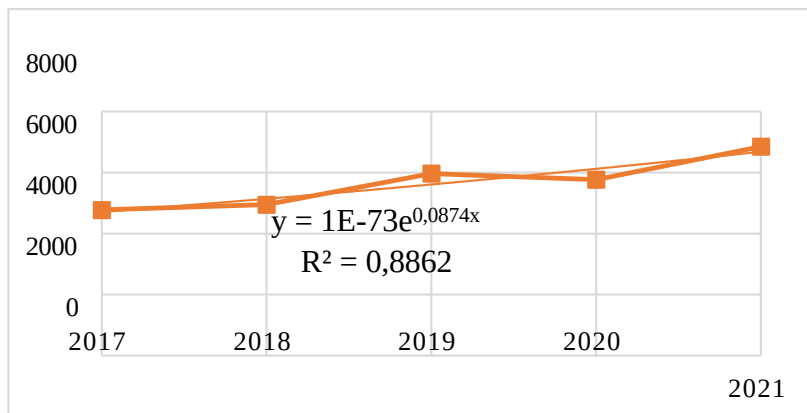
Berdasarkan beberapa pertimbangan yang ada dinilai bahwa pendirian pabrik Gliserol Monostearat (GMS) di Indonesia cukup strategis. Kebutuhan Gliserol Monostearat (GMS) di Indonesia diasumsikan dari data kebutuhan impor yang ditunjukkan pada Tabel 1.1

Tabel 1. 1 Data Impor GMS di Indonesia

Tahun	Kebutuhan impor (ton)
2017	4.775,875
2018	4.952,426
2019	5.966,340
2020	5.769,012
2021	6.849,869

(Badan Pusat Statistik, 2024)

Berdasarkan data Tabel 1.1, diperoleh grafik eksponensial yang disajikan pada Gambar 1.1



Gambar 1. 1 Grafik data impor GMS di Indonesia (eksponensial)

Berdasarkan grafik tersebut diperoleh persamaan eksponensial yaitu $y = 1 \times 10^{-73} \times e^{0,0874x}$ dengan nilai koefisien regresi yaitu 0,8862. Persamaan tersebut digunakan untuk perhitungan kapasitas produksi,

$$y = 1 \times 10^{-73} \times e^{0,0874x}$$

Keterangan:

y = kapasitas perancangan

x = tahun pabrik beroperasi

$$\begin{aligned} y \text{ kebutuhan pada 2030} &= 1 \times 10^{-73} \times e^{0,0874x} \\ &= 1 \times 10^{-73} \times e^{0,0874(2030)} \\ &= 11.308,2543 \text{ ton} \end{aligned}$$

Diprediksi kebutuhan GMS di Indonesia pada tahun 2030 adalah 11.308 ton.

Kapasitas pabrik Gliserol Monostearat yang sudah berdiri di China disajikan pada Tabel 1.2

Tabel 1. 2 Kapasitas pabrik yang sudah berdiri

Nama pabrik	Kapasitas produksi (ton/tahun)
Guangzhou Cardlo Biochemical Technological Co., Ltd	30.000
Hangzhou Oleochemicals Co., Ltd	1.000
Jiangsu Haianpetrochemical Plant	50.000
Jialishi Additives (HAIAN) Co., Ltd	50.000
Hangzhou Win East Import & Export Co., Ltd	5.000

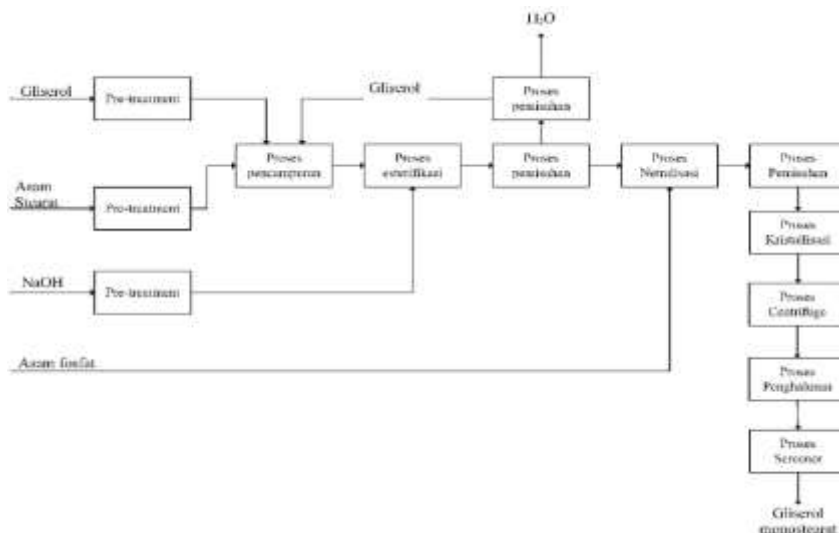
Pabrik GMS yang berdiri di China memiliki kapasitas produksi yaitu 10.000 – 50.000 ton/tahun, dan berdasarkan prediksi kebutuhan GMS di Indonesia pada tahun 2030. Maka, diputuskan kapasitas pabrik GMS ini adalah sebesar 12.000 ton/tahun.

1.2 Perbandingan Proses

Secara umum, terdapat dua metode untuk memproduksi gliserol monostearat (GMS): esterifikasi dan transesterifikasi. Karena hal ini memengaruhi harga jual produk, biaya produksi, harga bahan baku, kondisi operasional, dan konversi produk, pemilihan proses sangat penting. Selain itu, salah satu faktor kunci yang mendukung ketahanan, kemakmuran, dan kemajuan pabrik adalah pemilihan proses.

1.2.1 Proses Esterifikasi

Gliserol, asam stearat, dan katalis berupa asam atau basa merupakan bahan baku yang digunakan dalam proses esterifikasi. Kalsium hidroksida, kalium hidroksida, atau natrium hidroksida adalah katalis yang paling sering digunakan. Gugus asam karboksilat dan alkohol bergabung membentuk gugus ester dan air dalam reaksi esterifikasi. Satu mol gliserol dibutuhkan untuk membuat satu mol gliserol monostearat, menurut stoikiometri reaksi. Pada suhu 240 hingga 250°C dan tekanan 3,4 atm, esterifikasi terjadi (Hui, 1996). Konversi 90-95% dimungkinkan dalam prosedur untuk menghasilkan gliserol monostearat.



Gambar 1. 2 Alur proses esterifikasi

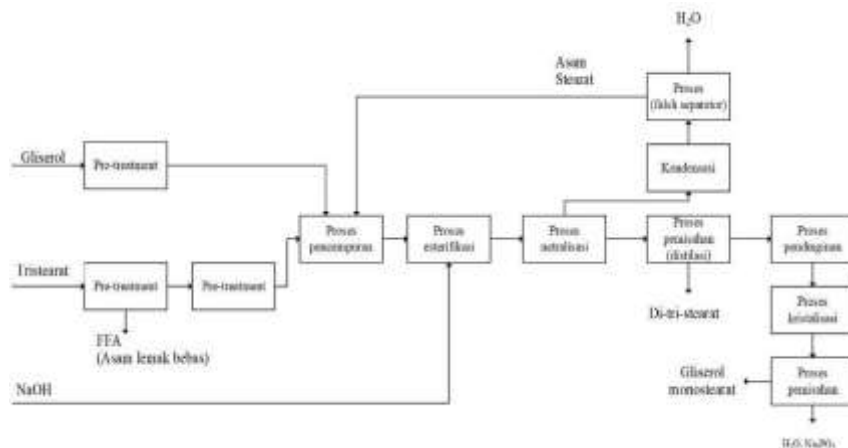
Asam stearat dan gliserol dimasukkan ke dalam proses pencampuran kemudian dilakukan pemanasan terlebih dahulu sebelum diumpankan ke dalam reaktor. Pada reaktor diumpankan NaOH yang telah dilakukan *pre-treatment* dan campuran hasil pemanasan, reaksi esterifikasi berlangsung selama 4,5 jam (Ratnasari et al., 2019). Hasil dari reaktor diumpankan ke proses pemisahan (menara distilasi) untuk memisahkan fasa berat dan fasa ringan. Produk atas dari menara distilasi diumpankan ke *flash drum* untuk memisahkan air dengan gliserol dan di *recycle* ke mixer 1. Produk bawah dari menara distilasi diumpankan ke *neutrallizer* untuk menetralkan produk dari NaOH menggunakan Asam Fosfat. Kemudian dipisahkan menggunakan *decanter*. Fasa ringan dari *decanter* yang berupa natrium fosfat, air, gliserol akan diumpankan ke unit pengolahan limbah, sedangkan fasa berat dari *decanter* diumpankan ke *crystallizer* untuk merubah fasa dari cair ke padatan (proses kristalisasi), hasil keluaran dari *crystallizer* kemudian diumpankan menggunakan *screew conveyor* ke *centrifuge* untuk memisahkan *liquid* yang terikut pada produk padatan. Fasa berat dari *centrifuge* yang berupa gliserol monostearat dan gliserol monopalmitat diumpankan menggunakan *belt conveyor* ke *ball mill* untuk dilakukan proses penggilingan atau penghalusan, kemudian di seragamkan ukurannya menggunakan *screener* ukuran 60 mesh. Produk hasil *screener* yaitu gliserol monostearat dan gliserol monopalmitat yang berbentuk serbuk di *packing* menggunakan kantong berukuran 25 kg dan disimpan dalam gudang.

1.2.2 Proses Trans-esterifikasi

Gliserol dan tristearat adalah bahan dasar yang digunakan dalam proses transesterifikasi. Katalis basa seperti kalsium hidroksida, kalium hidroksida, atau natrium hidroksida digunakan dalam proses ini. Triglisierida bergabung dengan alkohol untuk menghasilkan ester dan gliserol, sebuah proses yang dikenal sebagai transesterifikasi. Menurut stoikiometri, tiga mol alkohol dan satu mol triglisierida bergabung untuk menghasilkan tiga mol alkil ester asam lemak dan satu mol gliserol. Molekul triglisierida dapat diubah secara progresif menjadi diglisierida, monoglisierida, dan gliserol melalui serangkaian proses *reversibel* yang dikenal sebagai transesterifikasi. Konversi monoglisierida, produk utama,

berkurang ketika digliserida dalam bentuk distearat terbentuk.

Pada proses trans-esterifikasi sebelum diumpankan ke dalam reaktor, kandungan asam lemak bebas (FFA) dalam trigliserida perlu dipisahkan terlebih dahulu, serta pada akhir proses diperlukan pemisahan antara gliserol monostearat dan distearat. Semakin tinggi rasio gliserol terhadap tristearat maka akan semakin tinggi juga suhu yang diperlukan untuk mencapai reaksi sempurna. Pada suhu 255°C dalam suasana asam gliserol dapat terkonversi menjadi *acrolein*, tetapi hal itu tidak akan terjadi jika katalis digunakan pada suhu 260°C .



Gambar 1. 3 Alur proses trans-esterifikasi

Langkah pertama adalah mengekstrak tristearat yang mengandung asam lemak bebas (FFA). Reaktor diisi dengan campuran asam lemak yang telah dipisahkan, gliserol yang telah diolah sebelumnya, dan katalis NaOH. Selama proses transesterifikasi, yang dilakukan pada suhu 260°C dan tekanan 13,61 atm, nitrogen diumpankan ke dalam reaktor untuk menghentikan oksidasi. Dalam reaksi produksi gliserol monostearat, konversi yang dicapai sebesar 90–92%. Produk dinetralisasi menggunakan asam untuk menetralkan katalis NaOH dan membentuk endapan Na_3PO_4 , distilasi/fraksinasi molekuler kemudian digunakan untuk memisahkan produk monogliserida dan digliserida sesuai dengan titik didihnya masing-masing. Selain itu, uap asam stearat diekstraksi dan dimasukkan kembali ke dalam proses pencampuran. Setelah pemisahan, sisa garam dan air dihilangkan dari gliserol monostearat dengan cara mendinginkan dan mengkristalkannya (Ratnasari et al., 2019).

Meskipun proses transesterifikasi lebih hemat biaya dibandingkan dengan proses esterifikasi jika mempertimbangkan bahan baku utama yang digunakan, namun tingkat konversi produk yang dihasilkan oleh proses transesterifikasi lebih rendah dibandingkan dengan proses esterifikasi. Hal ini disebabkan adanya produk lain berupa digliserida yang harus dipisahkan kembali pada proses trans- esterifikasi. Berdasarkan uraian data-data yang ada maka didapatkan perbandingan proses yang ditunjukkan pada Tabel 1.3.

Seleksi proses:

Tabel 1. 3 Perbandingan proses GMS

Parameter	Proses esterifikasi	Proses trans-esterifikasi
Aspek Teknis		
Konversi (%)	90-95	90-92
Yield (%)	92	65,4
Aspek Operasi		
Temperatur (°C)	240-260	260
Tekanan (atm)	3,4	13,61
Aspek Lingkungan		
Hasil samping	H ₂ O	FFA, H ₂ O, Gliserol Distearat

Pada pendirian pabrik gliserol monostearat, dipilih proses esterifikasi dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Yield dan konversi yang tinggi.
- Rangkaian proses tidak terlalu rumit karena tidak adanya pemisah pada awalnya, sehingga menurunkan biaya investasi.
- Tekanan yang digunakan lebih rendah, meskipun suhu yang digunakan tidak jauh berbeda.
- Lebih aman dibandingkan dengan proses lain karena kondisi operasi lebih sederhana dan produk samping yang dihasilkan lebih sedikit.

1.3 Data Perancangan

1.3.1 Persamaan reaksi, kondisi operasi, mekanisme reaksi

Mekanisme reaksi esterifikasi yang terjadi yaitu asam stearat bereaksi dengan NaOH, sehingga ion hidroksida (OH⁻) dari NaOH menarik proton (H⁺) dari gugus -COOH pada asam stearat, menghasilkan ion stearat (-COO⁻) dan air (H₂O) sebagai berikut reaksinya. $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO}^-\text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$.

Gliserol (HOCH-CHOH-CH₂OH) memiliki tiga gugus hidroksil (OH). Gugus tersebut bertindak sebagai nukleofil. Gugus -OH dari gliserol menyerang karbon elektrofilik pada gugus karboksilat ion stearat (-COO⁻) sehingga terbentuk ikatan ester antara gliserol dan satu molekul asam stearat. Setelah esterifikasi selesai, terbentuk gliserol monostearat, yaitu senyawa dengan satu gugus hidroksil (-OH) dari gliserol yang berubah menjadi gugus ester (-COOR), sedangkan dua gugus -OH lainnya tetap utuh,

$$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH} + \text{HOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$$

Reaksi esterifikasi berlangsung pada suhu 240-250°C, tekanan 3,4 atm dengan konversi produk sebesar 90-95%. Pemilihan kondisi operasi ini didasarkan pada fakta bahwa pada kondisi operasi tersebut optimal untuk pembentukan gliserol monostearat.

1.3.2 Tinjauan Kinetika

Berdasarkan (Szelag, 1998), didapatkan data kinetika reaksi pembentukan gliserol monostearat dan monopalmitat.

$$-r_{\text{SA}} = k_1 C_{\text{SA}} C_{\text{G}} \quad -r_{\text{PA}} = k_1 C_{\text{PA}} C_{\text{G}} \quad (1)$$

dengan

$$k_{01} = 5,25 \times 10^4 / \text{jam.mol} \quad k_{02} = 6,28 \times 10^4 / \text{jam.mol}$$

$$E_{01} = 56,5 \text{ kJ/mol} \quad E_{02} = 54,4 \text{ kJ/mol}$$

Besarnya energi aktivasi (A) dihitung menggunakan persamaan Arrhenius:

$$k = A e^{-E_0/RT} \quad (2)$$

keterangan:

k : Konstanta kecepatan reaksi

A: Faktor frekuensi tumbukan

E: Energi aktivasi

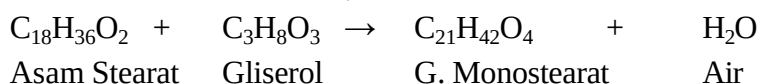
R: konstanta gas (1,987 kal/mol K)

T: Suhu operasi (K)

Reaksi-reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

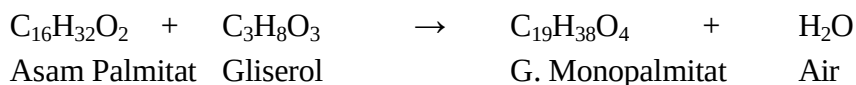
Reaksi utama

Konversi reaksi utama: 93,37%



Reaksi samping

Konversi reaksi samping: 94,17%



1.3.3 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika dilakukan untuk mengetahui reaksi yang terjadi berlangsung secara endotermis atau eksotermis.

Data pembentukan *enthalphy* (ΔH_f) reaksi GMS pada suhu 298K (Yaws, 1999):

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^\circ \text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2 &= -948,4 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_f^\circ \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 &= -669,4 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_f^\circ \text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_4 &= -1283,9 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} &= -285,8 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_r^\circ &= \Sigma \Delta H_f^\circ \text{product} - \Sigma \Delta H_f^\circ \text{reaktan} \quad (3) \\
 \Delta H_r^\circ &= (-1283,9 + (-285,8)) - ((-948,4) - (-669,4)) \\
 \Delta H_r^\circ &= -48,9 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Data pembentukan *enthalphy* (ΔH_f) reaksi GMP pada suhu 298K (Yaws, 1999):

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^\circ \text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 &= -876,3 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_f^\circ \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 &= -669,4 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_f^\circ \text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_4 &= -1212,8 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} &= -285,9 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_r^\circ &= \Sigma \Delta H_f^\circ \text{product} - \Sigma \Delta H_f^\circ \text{reaktan} \quad (4) \\
 \Delta H_r^\circ &= (-1212,8 + (-285,8)) - ((-876,3) - (-669,4)) \\
 \Delta H_r^\circ &= -47,1 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Tabel 1. 4 Data Heat Capacity

Komponen	A	B	C	D	E
C ₁₈ H ₃₆ O ₂	132,1450	0,8600	-0,001974	0,0000018068	0
C ₃ H ₈ O ₃	99,012	3,5874	-0,0072484	0,0000059035	0
C ₂₁ H ₄₂ O ₄	686,835	-0,8481	0,0018437	0	0
H ₂ O	33,933	0,0084186	0,0000299	1,7825e-08	3,6934e-12

(Sumber: Yaws (1999) dan Smith (2017))

Data pembentukan *enthalphy* (ΔH_f) reaksi GMS pada suhu 523K:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r^\circ &= \Sigma \Delta H_f^\circ \text{reaksi (298K)} + \int C_p dT \quad (5) \\
 \Delta H_r^\circ &= -48,9 \text{ kJ/mol} + 0,075 \text{ kJ/mol.K} \times 225\text{K} \\
 \Delta H_r^\circ &= -48,9 \text{ kJ/mol} + 7,875 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_r^\circ &= -41,025 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Data pembentukan *enthalphy* (ΔH_f) reaksi GMP pada suhu 523K:

$$\Delta H_r^0 = \Sigma \Delta H_f^0 \text{ reaksi (298K)} + \int C_p dT \quad (6)$$

$$\Delta H_r^0 = -47,1 \text{ kJ/mol} + 0,025 \text{ kJ/mol.K} \times 225\text{K}$$

$$\Delta H_r^0 = -47,1 \text{ kJ/mol} + 5,625 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_r^0 = -41,475 \text{ kJ/mol}$$

Data pembentukan *enthalphy* (ΔS^0) reaksi GMS pada suhu 298K (Yawws, 1999):

$$\Delta S^0 \text{ C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2 = 0,545 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S^0 \text{ C}_3\text{H}_8\text{O}_3 = 0,207 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S^0 \text{ C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_4 = 0,751 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S^0 \text{ H}_2\text{O} = 0,070 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S_r^0 = \Sigma \Delta S^0 \text{ product} - \Sigma \Delta S^0 \text{ reaktan} \quad (7)$$

$$\Delta S_r^0 = (0,751 + 0,070) - (0,545 - 0,207)$$

$$\Delta S_r^0 = 0,069 \text{ kJ/mol.K}$$

Data pembentukan *enthalphy* (ΔS^0) reaksi GMP pada suhu 298K (Yawws, 1999):

$$\Delta S^0 \text{ C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 = 0,503 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S^0 \text{ C}_3\text{H}_8\text{O}_3 = 0,207 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S^0 \text{ C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_4 = 0,683 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S^0 \text{ H}_2\text{O} = 0,070 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S_r^0 = \Sigma \Delta S^0 \text{ product} - \Sigma \Delta S^0 \text{ reaktan} \quad (8)$$

$$\Delta S_r^0 = (0,683 + 0,070) - (0,503 - 0,207)$$

$$\Delta S_r^0 = 0,043 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S_{523\text{K}} = \Delta S_r^0 + C_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (9)$$

$$\Delta S_{523\text{K}} = \Delta S_r^0 + 0,035 \cdot \ln \frac{523}{298}$$

$$\Delta S_{523\text{K}} = 0,0887 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta S_{523\text{K}} = \Delta S_r^0 + C_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S_{523\text{K}} = 0,043 + 0,025 \cdot \ln \frac{523}{298}$$

$$\Delta S_{523\text{K}} = 0,0571 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta G_r^0 = \Delta H_{523\text{K}} - T \cdot \Delta S_{523\text{K}} \quad (10)$$

$$\Delta G_r^0 = -41,025 - 523 \times 0,0887$$

$$\Delta G_r^0 = -87,415 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_r^0 = \Delta H_{523\text{K}} - T \cdot \Delta S_{523\text{K}} \quad (11)$$

$$\Delta G_r^{\circ} = -41,475 - 523 \times 0,0571$$

$$\Delta G_r^{\circ} = -71,335 \text{ kJ/mol}$$

Berdasarkan tinjauan termodinamika reaksi berlangsung secara eksotermis dan spontan dikarenakan ΔH dan ΔG bernilai negatif. Nilai konstanta kesetimbangan menunjukkan >1 , sehingga disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi *irreversible*.