

Pra-Desain Pabrik Gliserol Monostearat dengan Metode Esterifikasi

Muhammad Rakha Widiensyah, Ridha Dina Aulia, Raden Darmawan
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
email: rdarmawan@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Gliserol Monostearat (GMS) merupakan jenis surfaktan yang banyak digunakan sebagai agen pengemulsi pada industri makanan terutama di sektor kue (*bakery*) yang bertujuan untuk menjaga kestabilan suatu emulsi. GMS juga digunakan pada industri makanan sebagai *thickener*, *emulsifying agent*, pada industri farmasi dan kosmetik digunakan sebagai *solvent*, dan juga banyak digunakan dalam industri polimer yaitu plastik, karet, dan juga bahan pembuat ban. Namun, banyaknya kebutuhan GMS di Indonesia tidak didukung dengan adanya *supply* untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Menurut data dari BPS Indonesia, diketahui data impor untuk GMS di Indonesia dari tahun 2016 sampai 2020 mengalami peningkatan sebesar 23,8% per tahun. Saat ini, industri yang memproduksi surfaktan di Indonesia masih memakai bahan baku yang berasal dari minyak bumi dan tidak terbarukan. Surfaktan ini tidak ramah lingkungan dan dapat menimbulkan berbagai permasalahan kesehatan. Sehingga, dibutuhkan substitusi bahan baku surfaktan yang ramah lingkungan serta *biodegradable*, mengingat pemanfaatan surfaktan yang sangat luas dalam berbagai industri di Indonesia. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinyu 24 jam selama 330 hari per tahun dengan kapasitas produksi 6.081 ton/tahun dengan kebutuhan bahan baku utama berupa asam stearat sebanyak 5.742,2 ton/tahun dan gliserol sebanyak 1.896,1 ton/tahun. Untuk penentuan lokasi pabrik digunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP) didapatkan hasil *overall* untuk Tangerang, Gresik, dan Medan adalah 5,341; 7,144; dan 7,515. Dapat disimpulkan pabrik direncanakan akan didirikan pada tahun 2024 di daerah Kawasan Industri Medan, Medan, Sumatera Utara. Proses pembuatan GMS dibagi menjadi 4 tahapan proses utama di antaranya tahap *pre-treatment*, tahap esterifikasi, tahap pemurnian, dan tahap solidifikasi. Sumber dana investasi berasal dari modal sendiri sebesar 40% biaya investasi dan pinjaman sebesar 60% biaya investasi dengan bunga sebesar 8% per tahun. Berdasarkan perhitungan ekonomi, diperoleh NPV sebesar Rp931.514.220.331; IRR sebesar 21,436%; laju inflasi sebesar 1,87% per tahun, POT sebesar 4,14 tahun, dan *period of construction* selama 24 bulan.

Kata Kunci—Emulsi, Esterifikasi, Gliserol Monostearat, Pra Desain Pabrik, Surfaktan.

I. PENDAHULUAN

PESATNYA perkembangan industri makanan (*bakery*) di Indonesia menyebabkan *demand* akan surfaktan menjadi semakin meningkat. Surfaktan merupakan senyawa kimia yang dibutuhkan pada bidang industri kosmetik, kesehatan, industri minyak bumi, industri kue, dan lain - lain. Hal ini dikarenakan surfaktan mampu untuk menurunkan tegangan permukaan dari suatu fluida sehingga dapat mengemulsikan dua fluida yang tidak saling bercampur untuk menjadi saling bercampur secara homogen. Surfaktan memiliki gugus polar yang suka akan air (hidrofilik) dan gugus nonpolar yang suka akan minyak (lipofilik).

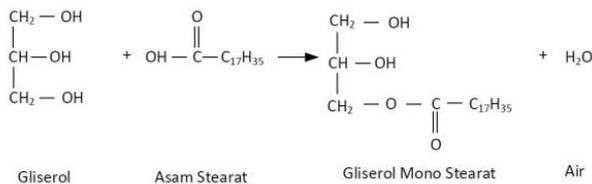
Saat ini, industri yang memproduksi surfaktan di Indonesia masih memakai bahan baku yang berasal dari minyak bumi dan tidak terbarukan (surfaktan sintetis). Sementara itu surfaktan sintetis ini tidak ramah lingkungan dan dapat menimbulkan berbagai permasalahan kesehatan. Maka dari itu dibutuhkan substitusi bahan baku surfaktan yang ramah lingkungan serta *biodegradable*, mengingat pemanfaatan surfaktan yang sangat luas dalam berbagai industri di Indonesia.

Salah satu jenis surfaktan yaitu gliserol monostearat (GMS) yang banyak digunakan sebagai agen pengemulsi pada industri makanan terutama di sektor kue (*bakery*) yang bertujuan untuk menjaga kestabilan suatu emulsi. Salah satu industri terbesar di Indonesia yang bergerak di sektor *bakery* adalah PT. Nippon Indosari Corpindo. Pada tahun 2020 PT. Nippon Indosari Corpindo dapat memproduksi 5 juta roti per hari dengan asumsi penggunaan dalam gliserol monostearat (GMS) sebanyak 0,002 kg/roti. Dapat diperkirakan hingga tahun 2025 gliserol monostearat sebagai bahan pengemulsi dengan bahan baku alami akan menempati posisi pertama dengan permintaan tertinggi. Hal ini dikarenakan banyaknya *demand* untuk pengemulsi makanan. Sehingga gliserol monostearat sangat dipertimbangkan untuk memiliki potensi yang menjanjikan di masa yang akan datang sebagai zat pengemulsi [1]. Selain itu gliserol monostearat juga digunakan pada industri polymer yaitu plastik, karet (bahan pembuat ban).

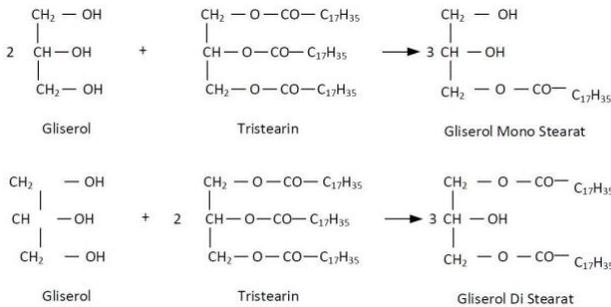
Berdasarkan uraian di atas, banyaknya kebutuhan dari gliserol monostearat di Indonesia tidak didukung dengan adanya *supply* gliserol monostearat dalam jumlah besar. Oleh karena itu, Indonesia harus mengimpor *supply* gliserol monostearat untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Menurut data dari Badan Pusat Statistika Indonesia, diketahui data impor untuk GMS di Indonesia dari tahun 2016 sampai 2020 mengalami peningkatan sebesar 23,8% per tahun [2]. Dimana pada tahun 2020 mengalami penurunan sebesar 3,31% dengan jumlah impor 5.769.012 kg saat pandemi Covid-19.

Produksi dari Gliserol Monostearat (GMS) pada umumnya dapat dilakukan melalui dua macam proses, yaitu dengan proses esterifikasi dan proses transesterifikasi. Pemilihan proses penting dilakukan karena akan sangat berpengaruh pada produk dan untuk menghasilkan produk dengan nilai jual yang tinggi dengan biaya produksi yang rendah dan bahan baku (raw material) yang murah. Beberapa aspek perlu diperhatikan dalam pemilihan proses seperti bahan baku, kondisi operasi, dan konversi.

Sebelum diumpankan ke proses esterifikasi, bahan baku yang digunakan berupa asam stearat, gliserol, dan katalis asam fosfat (H_3PO_4) dicampur dengan perbandingan sebesar 1:1:0,07 dalam persen massa. Proses esterifikasi dilakukan pada suhu 260°C dan pada tekanan 0,13 atm. Dalam reaksi



Gambar 1. Reaksi esterifikasi pembentukan gliserol monostearate.



Gambar 2. Reaksi esterifikasi pembentukan gliserol monostearate.

Tabel 1.

Perbandingan macam proses produksi gliserol monostearat

Parameter	Proses	
	Esterifikasi	Transesterifikasi
Aspek Teknik		
Konversi (%)	82	80
Yield (%)	91	65,4
Kemurnian	>90%	>90%
Aspek Kondisi Operasi		
Temperatur (°C)	260-300	260
Tekanan (atm)	0,13	13,61
Aspek Lingkungan		
Hasil Samping	H2O	FFA, H2O, Gliserol Distearat

pembentukan gliserol monostearat, konversi yang dapat dicapai sebesar 82%. Produk dari tahapan proses esterifikasi kemudian diumpangkan ke proses evaporasi (evaporator) agar dapat menguapkan gliserol yang nantinya akan diumpangkan kembali dengan *fresh* gliserol sebagai *recycle* gliserol. Produk bawah dari evaporator berupa campuran produk dan katalis asam (H₃PO₄). Fluida kemudian dialirkan ke proses pemurnian untuk menghilangkan katalis asam (H₃PO₄) dengan penambahan NaOH 85% massa. Hasil dari proses pemurnian ini berupa endapan Na₃PO₄. Liquid yang bebas dari katalis akan memasuki tahap solidifikasi untuk dapat membentuk produk akhir yaitu gliserol monostearat dalam bentuk padatan (*powder*) dan disimpan dalam tangki penyimpanan.

Proses transesterifikasi memakai bahan baku berupa trigliserida yang diurai menjadi tristearat dan juga gliserol. Namun, kandungan asam stearat didalam trigliserida harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum di proses ke dalam reaktor. Proses transesterifikasi menggunakan katalis basa seperti natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH) dan kalsium hidroksida (CaOH). Namun, pada proses transesterifikasi, terbentuk gliserol distearat sehingga mengurangi konversi produk GMS. Reaksi esterifikasi tertera pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Transesterifikasi merupakan reaksi pembentukan ester dan gliserol dari trigliserin (lemak atau minyak) dengan gugus alkohol. Sebelum diumpangkan ke dalam reaktor, kandungan asam stearat dalam trigliserida perlu dipisahkan terlebih

Tabel 2.

Daftar Pabrik Gliserol di Indonesia

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas Produksi (Ton/tahun)
PT Sinar Oleochemical Int.	Medan	100
PT Flora Sawita	Medan	60
PT Cisadane Raya Chemical	Tangerang	133
PT Sumi Asih	Bekasi	157
PT Sayap Mas Utama	Bekasi	170
PT Wings Surya	Surabaya	3.5
PT Unilever Indonesia	Surabaya	8.45
PT Bukit Perak	Semarang	1.444

Tabel 3.

Spesifikasi gliserol

Parameter	Spesifikasi
Bentuk	Cair
Warna	Tidak Berwarna
Gliserol (% wt)	99,7
Moisture (% wt)	0,3
Berat Molekul (g/mol)	92,1
Densitas (g/cm ³)	1,26
Viskositas (pada 20 °C)	1,15 cp
Titik Didih (°C)	288,9
Titik Leleh (°C)	20
Kelarutan	Larut dalam air, alkohol, etil asetat, dan eter

Tabel 4.

Daftar Pabrik Asam Stearat di Indonesia

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas Produksi (Ton/tahun)
PT Cisadane Raya Chemicals	Tangerang	29.200
PT Sumi Asih	Bekasi	13.500
PT Wilmar Nabati Indonesia	Gresik	500.000
PT Sumi Asih	Bekasi	157
PT Musim Mas	Medan	138.000

dahulu. Berdasarkan stoikiometri reaksi, untuk membentuk 3 mol gliserol monostearat hanya dibutuhkan 2 mol gliserol dan 1 mol tristearat. Namun, pada reaksi transesterifikasi dapat terbentuk gliserol distearat sehingga mengurangi konversi produk GMS.

Berdasarkan uraian dan data-data yang telah dijelaskan di atas maka didapatkan perbandingan yang tertera pada Tabel 1. Pada pendirian pabrik gliserol monostearat, dipilih proses esterifikasi dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Rangkaian proses dan kondisi operasi lebih sederhana karena tidak memerlukan separator di awal dan akhir proses.
2. Didapatkan konversi dan yield yang tinggi tanpa menggunakan proses lebih lanjut.
3. Biaya investasi lebih rendah karena tidak memerlukan banyak alat dalam rangkaian proses.
4. Kemurnian gliserol monostearat yang dihasilkan lebih tinggi.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku dan Produk

Faktor yang menentukan jumlah kapasitas produksi suatu pabrik adalah ketersediaan dari bahan baku yang dibutuhkan. Bahan baku utama yang digunakan untuk pembuatan GMS

Tabel 5.
Spesifikasi asam stearat

Parameter	Spesifikasi
Bentuk	Cair
Warna	Putih
Asam Stearat (% wt)	92
Asam Palmitat (% wt)	8
Berat Molekul (g/mol)	284,48
Densitas (g/cm ³)	0,84
Viskositas (pada 80 °C)	7,79 cp
Titik Didih (°C)	361
Titik Leleh (°C)	67
Kelarutan	Tidak larut dalam air, larut dalam etanol, sangat mudah larut dalam eter

Tabel 6.
Daftar Pabrik Asam Fosfat di Indonesia

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas Produksi (Ton/tahun)
PT Pupuk Kaltim	Bontang	200.000
PT Petrokimia	Gresik	400.000
PT Pupuk Sriwijaya	Palembang	200.000

Tabel 7.
Spesifikasi asam fosfat

Parameter	Spesifikasi
Bentuk	Cair
Warna	Tidak Berwarna
Asam Fosfat (% wt)	85
Moisture (% wt)	15
Berat Molekul (g/mol)	98
Densitas (g/cm ³)	1,68
Viskositas (pada 25 °C)	43,5 cp
Titik Didih (°C)	158
Titik Leleh (°C)	21
Kelarutan	Larut dalam air, alkohol

Tabel 8.
Daftar Pabrik Natrium Hidroksida di Indonesia

Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas Produksi (Ton/tahun)
PT Industri Soda Indonesia	Sidoarjo	12.000
PT Soda Sumatera	Meda	6.400
PT Indah Kiat Pulp and Paper	Riau	10.000
PT Miwon Indonesia	Gresik	12.000
PT Kertas Letjes	Probolinggo	9.000

adalah gliserol dan asam stearat. Selain itu, ada pula bahan pendukung antara lain asam fosfat (H₃PO₄) dan natrium hidroksida (NaOH). Menurut Indonesian Oil Palm Research, berikut ini merupakan daftar pabrik penghasil gliserol di Indonesia tertera pada Tabel 2. Gliserol yang digunakan dalam proses pembuatan GMS memiliki spesifikasi yang tersaji pada Tabel 3. Tabel 4 merupakan daftar pabrik penghasil asam stearat di Indonesia.

Pada umumnya asam stearat tersedia dalam bentuk cairan. Pada produksi gliserol monostearat (GMS) ini, digunakan asam stearat yang memiliki kandungan sebesar 92% dan sisanya berupa asam palmitat sebesar 8%. Dimana spesifikasi asam stearat tersaji pada Tabel 5.

Tabel 6 merupakan daftar pabrik penghasil asam fosfat (H₃PO₄) di Indonesia sebagai bahan baku pendukung dalam produksi gliserol monostearat. Asam fosfat yang digunakan dalam proses pembuatan GMS memiliki spesifikasi dari PT Sinar Oleochemical Int. yang tersaji pada Tabel 7. Untuk bahan baku pendukung lainnya yaitu NaOH. Tabel 8 merupakan data pabrik penghasil natrium hidroksida (NaOH) di Indonesia.

Tabel 9.
Spesifikasi natrium hidroksida

Parameter	Spesifikasi
Bentuk	Cair
Warna	Putih
NaOH (% wt)	48
Moisture (% wt)	52
Berat Molekul (g/mol)	39,88
Densitas (g/cm ³)	2,13
Viskositas (pada 25 °C)	86,5 cp
Titik Didih (°C)	1390
Titik Leleh (°C)	318
Kelarutan	Larut dalam air

Tabel 10.
Spesifikasi gliserol monostearat food grade

Parameter	Spesifikasi
Bentuk	Padat
Warna	Putih
Kemurnian	Min 90%
Free glycerol	Max 1,2%
Acid value	Max 3,0
Berat Molekul (g/mol)	358,6
Densitas (g/cm ³)	0,95
Titik Didih (°C)	477
Titik Leleh (°C)	70
Kelarutan	Tidak larut dalam air, larut dalam etanol panas, kloroform, dan minyak

Tabel 11.
Data Impor GMS di Indonesia Tahun 2016-2020

Tahun	Impor (Kg)	Pertumbuhan (%)
2016	4.659.937	-
2017	4.775.875	2
2018	4.952.426	4
2019	5.966.340	20
2020	5.769.012	-3
Rata – Rata Pertumbuhan		5,83

Pada produksi gliserol monostearat (GMS) menggunakan spesifikasi NaOH dari PT. Asahimas Chemical dengan kadar NaOH sebesar 48%. Dimana spesifikasi NaOH tersaji pada Tabel 9.

Produk akhir yang dihasilkan yaitu gliserol monostearate yang merupakan *fatty acid* ester dengan rumus molekul C₂₁H₄₂O₄. Sesuai dengan standar *food grade* spesifikasi gliserol monostearat mengandung minimal 90% monogliserida (terutama gliserol monostearat dan gliserol monopalmitat) dan maksimal 1,2% gliserol. Produk yang akan dihasilkan diharapkan memiliki spesifikasi seperti yang tersaji pada Tabel 10.

B. Kapasitas

Setiap tahun, Indonesia selalu melakukan kegiatan impor pada komoditas gliserol monostearat daripada kegiatan ekspornya. Pada desain pabrik gliserol monostearat didasarkan dari data statistik kebutuhan GMS dari tahun 2016 hingga 2020. Hingga tahun 2021 belum ada pabrik GMS yang didirikan di Indonesia, sehingga semua kebutuhan GMS dalam negeri dipenuhi dengan cara impor. Oleh karena itu, data-data impor dapat digunakan sebagai data kebutuhan atau konsumsi di dalam negeri yang dapat menjadi acuan dalam penentuan kapasitas produksi GMS.

Dapat diperkirakan kebutuhan GMS di Indonesia pada tahun 2026 sebesar 8.108.517,868 kg per tahun. Dari data tersebut juga ditentukan kapasitas pabrik sebesar 75% dari kebutuhan pada tahun 2026 sebesar 6.081.388,4 kg per tahun atau 6.081,38 ton per tahun, sehingga untuk kapasitas

Tabel 12.
Penentuan lokasi menggunakan Metode AHP

Aspek	Bobot	Skoring		
		Tangerang	Gresik	Medan
Bahan Baku	0,213	3	5	3
Transportasi	0,294	3	3	5
Sumber Energi Listrik dan Air	0,086	3	2	5
Sumber Tenaga Kerja	0,14	4	4	3
Hukum dan Peraturan	0,146	3	5	2
Iklim dan Topografi	0,121	2	3	5
Total	1	18	22	23

Tabel 13.

Perhitungan Bobot x Skoring Menggunakan Metode AHP

Aspek	Bobot	Bobot x Skoring		
		Tangerang	Gresik	Medan
Bahan Baku	0,213	0,639	1,065	0,639
Transportasi	0,294	0,882	0,882	1,470
Sumber Energi Listrik dan Air	0,086	0,258	0,172	0,430
Sumber Tenaga Kerja	0,14	0,560	0,560	0,420
Hukum dan Peraturan	0,146	0,438	0,730	0,292
Iklim dan Topografi	0,121	0,242	0,363	0,605
Total	1	3,019	3,772	3,856

produksi per hari dari pabrik gliserol monostearat (GMS) sebesar 18,42 ton/hari dengan 330 hari operasi pabrik dalam setahun dan basis 24 jam per hari. Data impor GMS tertera pada Tabel 11.

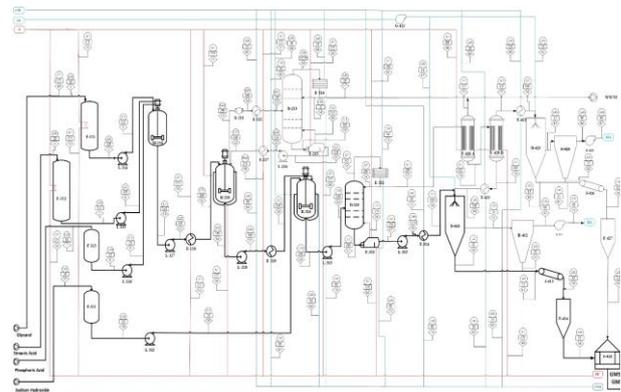
C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Pada prinsipnya, secara letak geografis dalam penentuan lokasi suatu pabrik akan memengaruhi keberlangsungan dan kemajuan suatu pabrik karena berpengaruh terhadap faktor produksi dan distribusi serta memaksimalkan keuntungan dan dapat memberikan kemungkinan untuk dapat memperluas atau menambah kapasitas dari pabrik yang akan didirikan. Pemilihan lokasi pabrik didasarkan dari perhitungan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta dapat memberikan keuntungan baik jangka panjang atau jangka pendek bagi perusahaan maupun masyarakat di sekitar lokasi pabrik.

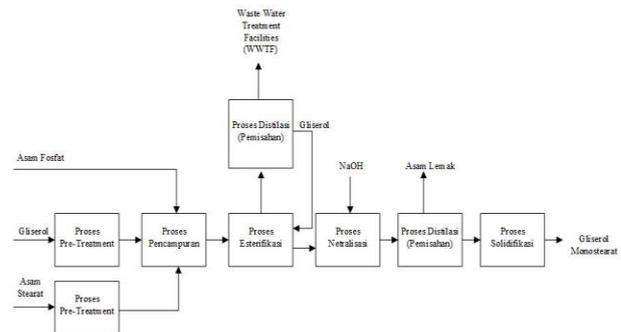
Umumnya penentuan lokasi pabrik mempertimbangkan 4 faktor utama sebagai survei awal agar mendapatkan satu atau lebih daerah geografis. Faktor utama tersebut adalah bahan baku, lokasi pasar, energi, dan iklim. Pada pemilihan lokasi pendirian pabrik gliserol monostearat ini, faktor yang dijadikan pertimbangan yaitu bahan baku, lokasi pemasaran dan aksesibilitas transportasi, utilitas, sumber tenaga kerja, hukum dan peraturan, iklim dan topografi. Terdapat tiga lokasi yang berpotensi sebagai tempat untuk pembangunan pabrik gliserol monostearat ini, yaitu: Medan (Sumatra Utara), Kota Tangerang (Banten), dan Gresik (Jawa Timur).

Penentuan lokasi dengan menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP) menggunakan *software Expert Choice*. Hasil pembobotan dengan metode AHP disajikan pada Tabel 12. Dari data bobot yang telah didapatkan, perlu dilakukan pengalihan bobot dan skor terhadap aspek dengan masing-masing lokasi yang akan terpilih. Perhitungan bobot x skoring menggunakan AHP tertera pada Tabel 13.

Berdasarkan trial yang digunakan pada *software Expert Choice* didapatkan hasil *overall* secara berurutan untuk



Gambar 3. diagram alir proses produksi gliserol monostearat.



Gambar 4. Process block diagram produksi gliserol monostearate.

Tangerang, Gresik, dan Medan adalah 3,019; 3,772; dan 3,856. Dengan demikian, dapat disimpulkan pabrik dibangun di Medan, Sumatra Utara. Terdapat lebih banyak aspek yang menguntungkan daripada di Tangerang, Banten atau di Gresik, Jawa Timur. Sehingga Kota Medan terpilih sebagai lokasi produksi gliserol monostearat.

III. URAIAN PROSES

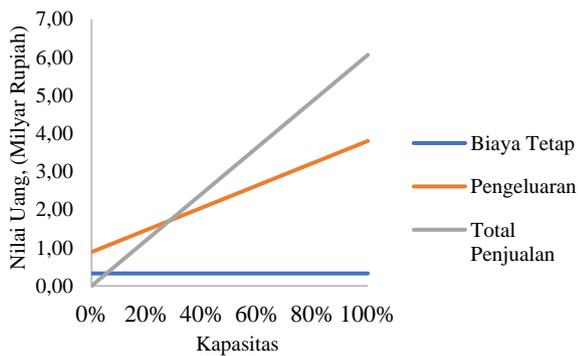
Proses pembuatan GMS dari gas dimulai dengan proses pre-treatment terlebih dahulu untuk selanjutnya dicampurkan dengan bahan lainnya dan dilanjutkan menuju proses esterifikasi. Gambar 3 merupakan diagram alir proses produksi gliserol monostearat.

Proses produksi gliserol monostearat dari gliserol tertera pada Gambar 4 dan asam stearat dengan proses esterifikasi dibagi menjadi 4 tahap proses [3].

1) Tahap Pre-Treatment

Pada tahap ini bahan baku dikondisikan untuk mencapai kondisi operasi sebelum masuk dalam reaktor esterifikasi (R-210). Pada *glycerol storage tank* (F-111), gliserol dipanaskan terlebih dahulu dari 30°C hingga 135°C untuk menurunkan viskositas dari gliserol dan asam stearat sehingga dapat mengurangi beban pompa nantinya saat dialirkan menuju *mixing point*. Tangki (F-111) dilengkapi dengan *coil* pemanas dengan sumber panas dari *saturated steam* dimana suhu gliserol dalam tangki diatur oleh *thermostatic control valve*.

Pada *stearic acid storage tank* (F-112) yang berisi asam stearat dikondisikan pada suhu 135°C yang dimana tangki dilengkapi *coil* pemanas seperti tangki (F-111) dengan tujuan penggunaan yang sama. Kemudian gliserol dan asam stearat dialirkan ke dalam *mixing tank* masing-masing menggunakan pompa (L-114 dan L-115). Sedangkan H₃PO₄ langsung dipompa menuju *mixing tank* menggunakan pompa (L-116) tanpa dipanaskan terlebih dahulu.



Gambar 5. Break even point (BEP).

Semua bahan baku tercampur dalam *mixing tank* dan dipompa menuju reaktor esterifikasi menggunakan pompa (L-117). Namun sebelumnya masuk ke dalam *preheater* (E-118) untuk dinaikkan temperaturnya hingga 260°C yang bertujuan untuk mengurangi beban energi yang dibutuhkan dalam reaktor (R-210) dan suhu optimum untuk reaksi esterifikasi antara gliserol dan asam stearat 240-260°C.

2) Tahap Esterifikasi

Pada tahap ini, akan terjadi reaksi esterifikasi di dalam reaktor esterifikasi (R-210) yang berisi campuran asam stearat, gliserol, dan H_3PO_4 membentuk gliserol monostearat dengan bantuan katalis asam H_3PO_4 .

Selain asam stearat yang bereaksi dengan gliserol, terdapat asam palmitat yang ikut bereaksi membentuk gliserol monopalmitat. Hal ini dikarenakan di dalam kandungan asam stearat terdapat asam palmitat sebanyak 8%.

Reaktor esterifikasi (R-210) dilengkapi dengan *heating jacket* dengan tujuan untuk menjaga suhu reaktor. Air dan beberapa komponen lainnya akan berubah fase dari liquid menjadi gas dengan mengatur suhu dan tekanan, yang kemudian oleh *steam jet ejector* akan ditarik menjadi produk atas. *Steam jet ejector* (G-211) juga berfungsi untuk menghasilkan kondisi vakum pada kolom distilasi. Air merupakan hasil produk dari reaksi esterifikasi yang kemudian dilakukan penarikan air agar reaksi kesetimbangannya terus berjalan ke arah produk sehingga didapatkan konversi reaksi yang tinggi [4]. Produk reaktor berfase gas ini kemudian diubah fasenya menjadi *liquid* menggunakan kondensor (E-212), lalu dipisahkan menggunakan kolom distilasi (D-213). Aliran *bottom* (aliran bawah) dikembalikan lagi ke dalam reaktor dengan menggunakan pompa (L-214) tetapi sebelumnya dipanaskan menggunakan *heater* (E-215) agar mencapai suhu reaksi. Sedangkan aliran *top* (aliran atas) dialirkan menuju Unit *Wastewater Treatment* (WWT). Produk bawah yang keluar dari reaktor esterifikasi (R-210) adalah campuran dari gliserol, asam stearat, asam palmitat, dan H_3PO_4 yang tidak bereaksi. Hasil dari produk bawah ini kemudian dialirkan menggunakan pompa (L-216) dan diturunkan suhunya dengan *cooler* (E-217) untuk memasuki tahap pemurnian.

3) Tahap Pemurnian

Produk keluaran dari reaktor esterifikasi (R-210) dialirkan menuju *neutralizing reactor* (R-310) untuk menghilangkan kandungan asam dari H_3PO_4 dengan penambahan NaOH melalui pompa (L-312) yang dalirkan melalui *sodium hydroxide storage tank* (F-311) dan menghasilkan garam

Na_3PO_4 serta air. Kemudian produk dari hasil netralisasi (aliran *bottom*) dialirkan melalui pompa (L-313) menuju kolom distilasi (D-320) dengan tujuan untuk memisahkan asam lemak (aliran *top*) dan produk utama gliserol monostearat yang hanya mengandung impuritas seminimal mungkin.

4) Tahap Solidifikasi

Aliran *bottom* kolom distilasi yang mengandung gliserol monostearat (kemurnian 91%) kemudian memasuki unit *spray cooling chamber* (D-410) untuk mengubah bentuk yang awalnya *liquid* menjadi bubuk padat dengan menyesuaikan bentuk produk GMS yang diinginkan. GMS yang awalnya merupakan fase *liquid* masuk ke dalam *cooling chamber* dan terpecah oleh *atomizer* yang memiliki ukuran lubang sesuai dengan produk yang diinginkan dan terpapar dengan aliran udara dingin sehingga GMS memadat menjadi bubuk padat dengan diameter 60 mesh. Aliran udara dingin ini merupakan *ambient air* yang ditarik dari lingkungan menggunakan *centrifugal blower* dan masuk ke dalam *nozzle*. Aliran udara yang digunakan dalam *centrifugal blower* adalah *co-current*, yang juga disebut aliran paralel, adalah ketika produk pendinginan mengalir ke arah yang sama dengan material. Aliran ini secara langsung membuat bahan terpanas bersentuhan dengan udara terdingin di *spray cooling chamber*, menghasilkan perubahan suhu awal yang cepat. Selain itu, *spray cooling chamber* bekerja paling baik dengan material yang tidak mengalami penurunan suhu bertahap untuk transformasi terkontrol.

Kemudian bubuk GMS akan jatuh ke bawah menuju *belt conveyor* (J-412) untuk dialirkan menuju *GMS Bin* (F-415). Sedangkan udara dan sedikit bubuk padat GMS terbawa menuju *cyclone* (H-413) untuk memisahkan bubuk padat GMS dari udara, dimana udara ditarik keluar menggunakan *centrifugal blower* (G-414) sedangkan bubuk padat GMS akan jatuh ke bagian bawah *cyclone* dan terbawa oleh *belt conveyor* (J-412) menuju *GMS Bin* (F-415).

Untuk mendapatkan produk sampingan yaitu Gliserol Monopalmitat (GMP) dengan kemurnian lebih dari 95% pada Aliran *top*, berikutnya di arahkan kedalam *evaporator* untuk memisahkan antara GMP dengan kandungan asam lemak dan Na_3PO_4 , pada *evaporator* pertama (V-420 A) dan memisahkan antara GMP dengan GMS yang ter-*carryover* pada *evaporator* kedua (V-420 B). Untuk GMS akan dimasukkan kembali ke dalam *spray cooling chamber* (D-410). GMS yang terpisah di arahkan menuju *cooler* (E-422) untuk mengubah fase menjadi *liquid*. Kemudian bubuk GMP akan jatuh ke bawah menuju *belt conveyor* (J-426) untuk dialirkan menuju *GMP Bin* (F-427). Sedangkan udara dan sedikit bubuk padat GMP terbawa menuju *cyclone* (H-424) untuk memisahkan bubuk padat GMP dari udara, dimana udara ditarik keluar menggunakan *centrifugal blower* (G-425) sedangkan bubuk padat GMP akan jatuh ke bagian bawah *cyclone* dan terbawa oleh *belt conveyor* menuju *GMP Bin*.

IV. NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI

Berdasarkan perhitungan *material balance* pada pabrik ini, gliserol yang dibutuhkan dalam proses produksi yaitu 197,2 Kg/Jam, asam stearat sebesar 197,2 Kg/Jam, H_3PO_4 sebesar 6,5 Kg/Jam, dan NaOH sebesar 0,47 Kg/Jam. Untuk

menghasilkan 767,8 Kg gliserol monostearat/Jam. Berikutnya, berdasarkan perhitungan *energy balance* dibutuhkan energi sebesar 5.390.556,7 KJ/Jam. Dengan kondisi operasi sebagai berikut, waktu operasi pabrik dalam 1 tahun yaitu 330 hari.

V. ANALISA EKONOMI

Analisa ekonomi merupakan salah satu parameter apakah suatu pabrik tersebut layak didirikan atau tidak. Untuk menentukan kelayakan suatu pabrik secara ekonomi, diperlukan perhitungan parameter analisa ekonomi. Parameter kelayakan tersebut antara lain IRR (*Internal Rate of Return*), POT (*Pay Out Time*), dan NPV (*Net Present Value*). Selain yang tersebut diatas, juga diperlukan analisa biaya yang diperlukan untuk beroperasi dan utilitas, jumlah dan gaji karyawan serta pengadaan lahan untuk pabrik [5].

Untuk menentukan faktor-faktor tersebut terlebih dahulu perlu diketahui total capital investment dan total production cost. Total capital investment merupakan jumlah modal yang diperlukan untuk mendirikan suatu pabrik mulai dari awal hingga pabrik selesai dibangun dan siap beroperasi. Total capital investment yang didapatkan dari perhitungan yaitu Rp 306.575.844.875,14. Total capital investment dibagi atas dua bagian, yaitu Capital Expenditure (CapEx) dan Operational Expenditure (OpEx).

Capital expenditures (CapEx) adalah dana yang digunakan oleh perusahaan untuk memperoleh, meningkatkan, dan memelihara aset fisik seperti properti, pabrik, bangunan, teknologi, atau peralatan. CapEx sering digunakan untuk melakukan proyek atau investasi baru oleh suatu perusahaan. CapEx pabrik GMS yaitu Rp 266.626.546.356.

Pengeluaran modal tidak sama dengan biaya operasional (OpEx). Biaya operasional adalah biaya jangka pendek yang diperlukan untuk memenuhi biaya operasional yang sedang berjalan dalam menjalankan bisnis. Tidak seperti belanja modal, biaya operasional dapat dikurangkan sepenuhnya dari pajak perusahaan pada tahun yang sama di mana biaya terjadi. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, OpEx pabrik GMS untuk 1 tahun sebesar Rp 366.503.225.059.

Dalam melakukan analisa keuangan pabrik GMS ini, digunakan beberapa asumsi, antara lain sebagai berikut: Modal kerja sebesar 6 bulan biaya pengeluaran, yaitu biaya bahan baku ditambah dengan biaya operasi; Eskalasi harga bahan baku sebesar nilai inflasi 1,87 % pertahun; Eskalasi biaya operasi yang meliputi biaya bahan tambahan, biaya utilitas dan biaya tetap sebesar nilai inflasi 1,87 % pertahun; Sumber dana investasi berasal dari modal sendiri sebesar 40% biaya investasi dan pinjaman jangka pendek sebesar 60% biaya investasi dengan bunga sebesar 8% per tahun yang akan dibayar dalam jangka waktu 52 bulan (4,14 tahun); Penyusutan investasi alat & bangunan terjadi dalam waktu 10

tahun secara *straight line*.

Asumsi-asumsi yang digunakan yaitu bunga bank 8,0% dan inflasi per tahun 1,87%. Dengan, Pajak pendapatan didasarkan atas UU Nomor 36 Tahun 2008 tentang perubahan Keempat atas Undang-Undang Nomor 7 Tahun 1983 pasal 17 ayat (1) yang menyatakan bahwa untuk penghasilan diatas Rp 500.000.000 akan dikenakan pajak sebesar 30%. Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan NPV sebesar Rp 931.583.032.787 dengan WACC 11%, IRR sebesar 21,433 % dan BEP sebesar 28,25 % dimana POT selama 4,14 tahun. Pabrik diperkirakan berdiri selama 10 tahun dengan lama waktu konstruksi selama 3 tahun. Operasi pabrik 330 hari/tahun dan 24 jam/hari. Hasil penjualan dengan 100% kapasitas produksi sebesar Rp 5.418.497.476.041. Grafik BEP dapat dilihat pada Gambar 5.

VI. KESIMPULAN/RINGKASAN

Pabrik Gliserol Monostearat ini didirikan untuk memanfaatkan Gliserol sebagai hasil samping produksi Biodiesel yang kian meningkat serta memenuhi kebutuhan *emulsifier* gliserol monostearat dalam negeri sehingga dapat mengurangi beban impor. Untuk mengetahui kelayakan dari Pra Desain Pabrik Gliserol Monostearat, dilakukan diskusi dari segi teknis dan ekonomis.

Dari segi teknis, dalam pra desain pabrik Gliserol Monostearat, proses yang digunakan adalah Proses Esterifikasi dengan bahan baku asam stearat dan gliserol. Secara teknis pabrik ini mempunyai syarat kelayakan karena mampu menghasilkan produk gliserol monostearat dengan kemurnian sesuai kebutuhan target pasar, yaitu 91,66%.

Dari Segi Ekonomis Kelayakan Pra Desain Pabrik Gliserol Monostearat dari segi ekonomi diketahui melalui analisa ekonomi yang meliputi perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Pay Out Time* (POT). *Internal Rate of Return* (IRR) pabrik ini adalah 21,43% Angka ini lebih besar dari bunga bank yaitu 8%. Modal pabrik akan kembali setelah pabrik beroperasi selama 4,14 tahun. Waktu ini relatif sedang jika dibandingkan dengan perkiraan umur pabrik 10 tahun. Berdasarkan hasil analisa dari ketiga parameter tersebut, Pabrik Gliserol Monostearat ini layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. L. Hasenhuettl, "Synthesis and Commercial Preparation of Food Emulsifiers," in *Food emulsifiers and their applications*, Berlin: Springer, 2019.
- [2] BPS RI, "Komoditi Ekspor – Impor,," *Ekspor Impor*, Jakarta: Badan Pusat Statistik RI. 2021.
- [3] M. Younes, P. Aggett, F. Aguilar, and R. Crebelli, "Re-evaluation of mono- and di-glycerides of fatty acids (E 471) as food additives," *EFSA J.*, vol. 15, no. 11, 2017.
- [4] J. Bailey and D. Ollis, "Biochemical Engineering Fundamentals," *Chem. Eng. Educ.*, vol. 10, no. 4, pp. 162--165, 1976.
- [5] M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, and R. E. West, *Plant Design And Economics For Chemical Engineers*. London: McGraw-Hill, 2003.