

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Surfaktan merupakan bahan aktif dalam deterjen, sabun, sampo, farmasi, pertambangan, dan industri kertas. Surfaktan mempunyai sifat dapat menurunkan tegangan permukaan sehingga dapat digunakan sebagai bahan flokulasi, perekat, stabilisasi emulsi, dan produksi busa. Namun sebagian besar surfaktan sintetik komersial masih menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan karena bersifat korosif dan beracun. Surfaktan anionik berbasis bio menghasilkan deterjen yang rendah toksisitas, biodegradable, dan kompatibel dengan manusia dan lingkungan (Qadariyah dkk., 2022).

Indonesia mengimpor surfaktan anionik dari beberapa negara seperti Malaysia, United State, United Kingdom, United Arab Emirates, Turkey, China, dan negara lainnya. Pertumbuhan rata-rata impor surfaktan anionik ke Indonesia per tahun mulai dari tahun 2017-2023 yaitu sebesar 8,50% (BPS, 2024). *Methyl ester sulfonat* merupakan surfaktan anionik yang memiliki sifat biodegradabilitas yang tinggi dan rendah toksisitas sehingga lebih aman bagi lingkungan terutama terhadap organisme akuatik (Qadariyah dkk., 2022). MES dapat diaplikasikan untuk produk deterjen bubuk, deterjen pencuci piring, sabun, dan sampo. Pasar MES global mencapai volume 1.316, 1 juta ton pada tahun 2023 mengalami peningkatan sebesar 6,11% dari tahun 2022 (Expert Market Research, 2024).

MES dapat dibuat menggunakan minyak sawit melalui proses transesterifikasi dan sulfonasi (Tobori dan Kakui, 2019). Sebagai salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia, Indonesia mempunyai potensi besar untuk mengembangkan industri hilir berbasis minyak sawit, seperti produksi metil MES (Destriyanti dkk., 2022). Produksi *Crude Palm Oil* (CPO) di Indonesia mencapai 50,07 juta ton atau naik sebesar 7,15% dari tahun 2022. Produksi *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO) pada tahun 2023

mengalami peningkatan sebesar 5,66% atau 4,77 juta ton dari tahun 2022 sebesar 4,52 juta ton (GAPKI, 2024).

Produksi MES menggunakan CPKO memiliki keunggulan khusus dibandingkan dengan CPO. CPKO mengandung banyak asam lemak rantai menengah dan panjang, terutama asam laurat dan miristat yang sangat cocok untuk produksi surfaktan. Asam lemak ini menghasilkan busa yang stabil dan meningkatkan sifat deterjen. Selain itu, CPKO cenderung mengandung lebih sedikit pengotor dibandingkan dengan CPO, sehingga produk MES yang dihasilkan menjadi lebih murni (Sheats dkk., 2020).

Melihat potensi besar yang dimiliki Indonesia dalam produksi CPKO serta tingginya permintaan global terhadap surfaktan ramah lingkungan seperti MES, maka pendirian pabrik MES di Indonesia adalah langkah strategis. Dengan mendirikan pabrik ini, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada impor, meningkatkan nilai tambah dari produksi kelapa sawit, dan memenuhi permintaan domestik dan internasional. Selain itu, dengan adanya pabrik MES tidak hanya meningkatkan ekonomi dan menciptakan lapangan kerja, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan. Hal ini merupakan langkah besar menuju kemajuan sektor yang berkelanjutan dan kompetitif di pasar global.

Salah satu langkah penting dalam perencanaan pendirian pabrik MES adalah menentukan kapasitas pabrik yang tepat. Hal ini tidak hanya memastikan bahwa pabrik dapat beroperasi secara efisien dan memenuhi permintaan pasar, tetapi juga memberikan fleksibilitas untuk mengakomodasi pertumbuhan pasar di masa mendatang. Hal ini penting untuk memastikan bahwa investasi yang dilakukan memberikan hasil maksimal, baik dari segi ekonomi maupun kontribusi terhadap keberlanjutan industri.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menyusun rancangan proses produksi *Metyl Ester Sulfonate* (MES) dari *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO) dengan kapasitas 80.000 ton/tahun yang

memenuhi aspek kelayakan teknis dan memberikan keuntungan secara ekonomi?

2. Bagaimana menentukan proses produksi MES yang paling optimal melalui kombinasi proses transesterifikasi dan sulfonasi menggunakan SO_3 ditinjau dari aspek teknis, efisiensi reaksi, dan kualitas produk?
3. Bagaimana menentukan kapasitas produksi pabrik yang tepat sebesar 80.000 ton/tahun berdasarkan analisis kebutuhan pasar, data impor, ekspor, serta konsumsi MES di Indonesia?
4. Bagaimana menentukan desain sistem proses yang meliputi neraca massa, neraca energi, spesifikasi peralatan utama, serta letak tata pabrik yang sesuai untuk kapasitas produksi yang direncanakan?

1.3 Tujuan Prarancangan Pabrik

1. Menentukan proses produksi *Methyl Ester Sulfonate* (MES) dari CPKO melalui tahapan transesterifikasi dan sulfonasi menggunakan SO_3 yang paling efisien dan optimal.
2. Melakukan perhitungan neraca massa dan neraca energi sebagai dasar dalam perancangan pabrik MES dengan kapasitas 80.000 ton/tahun.
3. Merancang peralatan proses utama serta sistem utilitas yang diperlukan untuk menunjang operasi pabrik secara berkelanjutan.
4. Menganalisis kapasitas produksi dan kelayakan ekonomi pabrik MES kapasitas 80.000 ton/tahun berdasarkan aspek teknis dan finansial.

1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik

1. Sebagai penerapan ilmu Teknik Kimia dalam perancangan proses industri berbasis oleokimia, khususnya dalam produksi surfaktan ramah lingkungan.
2. Mendukung pengembangan industri hilir kelapa sawit di Indonesia melalui pemanfaatan CPKO menjadi produk bernilai tambah tinggi.

3. Mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap impor surfaktan dengan memproduksi MES dalam negeri.
4. Memberikan informasi kelayakan teknis dan ekonomi dalam pendirian pabrik MES kapasitas 80.000 ton/tahun.

1.5 Batasan Masalah

Perancangan pabrik *Methyl Ester Sulfonate* (MES) dari bahan baku *Crude Palm Cernel Oil* (CPKO) dengan kapasitas 80.000 ton/tahun melalui proses transesterifikasi yang dilanjutkan dengan proses sulfonasi menggunakan SO_3 . Perhitungan yang dilakukan dalam perancangan perancangan ini meliputi neraca massa dan neraca energi sebagai dasar perhitungan kebutuhan bahan baku dan utilitas. Perancangan juga mencakup penentuan dan spesifikasi peralatan proses utama serta unit utilitas yang diperlukan dalam proses produksi. Analisa ekonomi yang dilakukan bersifat estimasi awal (*Preliminary economic analysis*) untuk menilai kelayakan pabrik.

1.6 Ketersediaan bahan baku

Pemilihan bahan baku harus mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, dan kedekatan lokasi sumber bahan baku dengan pabrik. Pengelolaan persediaan bahan baku yang tidak tepat dapat menimbulkan permasalahan operasional. Persediaan yang terlalu besar akan meningkatkan biaya penyimpanan, risiko degradasi mutu, serta beban modal kerja. Sebaliknya, persediaan yang terlalu kecil dapat mengganggu stabilitas produksi akibat keterlambatan pasokan dan meningkatkan frekuensi pembelian yang berdampak naiknya biaya logistik.

1. *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO)

Bahan baku utama dalam pembuatan *Methyl Ester Sulfonate* (MES) adalah *Crude Palm Cernel Oil* (CPKO). CPKO merupakan minyak nabati yang berasal dari inti kelapa sawit dan tersusun atas trigliserida dengan kandungan asam lemak rantai sedang yang tinggi, seperti asam laurat.

CPKO yang digunakan dalam perancangan pabrik ini diperoleh dari pabrik *kernel oil* yang berada di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei dengan kapasitas bahan baku 400 ton/hari dan produksi CPKO mencapai 8000 kg/jam. Adapun kebutuhan bahan baku CPKO untuk pabrik dirancang sebanyak 7.148 kg/jam, sehingga ketersediaan bahan baku mencukupi. Selain itu bahan baku CPKO diambil salah satunya dari PT. Mahkota Group Tbk (MGRO) yang berpusat di Medan, Sumatera Utara dan PT. Agro Mega Perkasa yang berada di Provinsi Bengkulu. Ketersediaan bahan baku tersebut dinilai mampu memenuhi kebutuhan pabrik yang dirancang dengan kapasitas produksi 80.000 ton/tahun. Harga CPKO yang digunakan dalam perancangan ekonomi pabrik sebesar Rp 14.500 /kg.

1.6.1 Reaktan

1. Metanol

Metanol (CH_3OH) digunakan sebagai pereaksi pada proses transesterifikasi untuk mengubah trigliserida dalam CPKO menjadi metil ester dan gliserol. Dalam perancangan pabrik ini, metanol yang digunakan memiliki kemurnian 99,7% dengan rasio mol CPKO : metanol sebesar 1 : 6. Penggunaan metanol berlebih bertujuan untuk menggeser kesetimbangan reaksi ke arah pembentukan produk sehingga meningkatkan konversi metil ester. Kemurnian yang tinggi diperlukan untuk meminimalkan kandungan air yang dapat menyebabkan reaksi samping berupa saponifikasi (Abdillah dkk., 2017).

Ketersediaan metanol di Indonesia cukup memadai dan dapat diperoleh dari industri petrokimia seperti PT. Kaltim Metanol Industri (KMI) yang berada di Bontang, Kalimantan Timur. Harga metanol yang digunakan dalam analisis ekonomi awal adalah Rp 7.000/kg.

1.6.2 Katalis

1. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium Hidroksida (NaOH) digunakan sebagai katalis basa pada proses transesterifikasi CPKO menjadi metil ester dengan konsentrasi sekitar 0,5% berat minyak. NaOH berfungsi membentuk ion metoksida yang mempercepat reaksi

sehingga konversi metil ester dapat mencapai $\pm 98\%$ pada kondisi optimum. Selain itu, NaOH juga digunakan sebagai agen netralisasi pada tahap konversi *Methyl Ester Sulfonic Acid* (MESA) menjadi *Methyl Ester Sulfonat* (MES) dalam bentuk garam natrium yang stabil (Hakim dan Marsalin, 2017).

NaOH juga digunakan dalam tahap netralisasi untuk mengubah *Methyl Ester Sulfonic Acid* (MES). Pasokan NaOH dapat diperoleh dari PT Asahimas Chemical yang berlokasi di Cilegon, Banten dan PT Sulfindo Adiusaha yang berlokasi di Jawa Barat. Kedua perusahaan tersebut merupakan produsen bahan kimia dasar yang mampu menyediakan NaOH dengan katalis industri secara berkelanjutan. Harga NaO yang digunakan dalam analisis ekonomi awal adalah Rp 6.500/kg.

1.6.3 Reagen Sulfonasi

1. Sulfur Trioksida (SO_3)

Sulfur Trioksida (SO_3) digunakan sebagai agen sulfonasi untuk mengubah metil ester menjadi *Methyl Ester Sulfonic Acid* (MESA), yang selanjutnya dinetralisasi menjadi *Methyl Ester Sulfonat* (MES). SO_3 dipilih karena memiliki kecepatan reaksi sangat tinggi, tidak menghasilkan air sebagai produk samping, serta mampu menghasilkan produk dengan kualitas dan warna yang lebih baik dibandingkan penggunaan H_2SO_4 atau oleum. Proses ini berlangsung secara kontinu dalam *falling film reactor* pada suhu sekitar 60°C dan tekanan 1 atm, sehingga cocok untuk produksi skala besar dan lebih efisien secara operasional.

Kebuthan SO_3 dapat diperoleh dari industri kimia dan pupuk nasional PT Petrokimia Gresik yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Ketersediaan SO_3 dari industri tersebut dinilai mampu mendukung operasi pabrik secara kontinu. Harga SO_3 yang digunakan dalam analisis ekonomi awal adalah Rp 11.000 /kg.

1.6.4 Bahan pendukung

1. Air Proses

Air proses digunakan untuk pencucian metil ester setelah tahap transesterifikasi guna menghilangkan sisa katalis, sabun, dan gliserol yang terlarut. Air juga digunakan sebagai pelarut dalam pembuatan larutan NaOH 50% sebelum digunakan sebagai

katalis maupun agen netralisasi. Selain itu, air berfungsi sebagai media pendingin (*cooling water*) pada penukar panas untuk mengendalikan suhu reaksi dan mencegah degradasi produk. Kualitas air proses harus memenuhi standar industri untuk menghindari kontaminasi dan korosi peralatan.

2. Udara Kering

Udara kering digunakan pada unit *spray dryer* untuk mengeringkan pasta MES hasil netralisasi menjadi bentuk bubuk atau granular yang stabil dan mudah ditangani. Udara panas yang memiliki kelembaban rendah mempercepat penguapan air sehingga menghasilkan produk dengan kadar air sesuai spesifikasi.

3. Steam (Uap air)

Steam (uap air) digunakan sebagai media pemanas pada reaktor, pemanas awal bahan baku, serta pada unit distilasi untuk *recovery* metanol. Penggunaan *steam* umum dalam industri kimia karena efisien dalam mentransfer panas dan mudah dikontrol.

4. Bahan Bakar

Bahan bakar (misalnya gas alam atau bahan bakar cair) yang mendukung sistem boiler dan utilitas pabrik. Sistem utilitas yang baik memastikan kontinuitas operasi serta efisiensi energi secara keseluruhan.

1.7 Penentuan Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas produksi didapat dari data pendukung seperti data produksi, konsumsi, dan impor suatu produk. Terdapat beberapa tahapan perhitungan kapasitas produksi yaitu mengumpulkan data pendukung, menghitung prediksi data, menghitung peluang kapasitas dan menentukan kapasitas produksi (Alfian dan Mustain, 2020). Data impor MES di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.3 dan data produksi konsumsi MES di Indonesia pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2 Dari data tersebut dapat dibuat grafik yang menggambarkan hubungan jumlah impor MES pada tahun 2017-2025 (Gambar 1.1)

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), kapasitas konsumsi di Indonesia pada periode 2017–2025 mengalami fluktuasi namun menunjukkan kecenderungan meningkat. Kapasitas konsumsi yang awalnya sebesar 102.137 ton/tahun pada tahun 2017 meningkat menjadi 111.300 ton/tahun pada tahun 2025. Berdasarkan perhitungan data tersebut diperoleh rata-rata pertumbuhan sebesar 111.300 per tahun, yang menunjukkan bahwa perkembangan industri masih terus meningkat dan kebutuhan konsumsi diperkirakan akan terus bertambah pada tahun 2026.

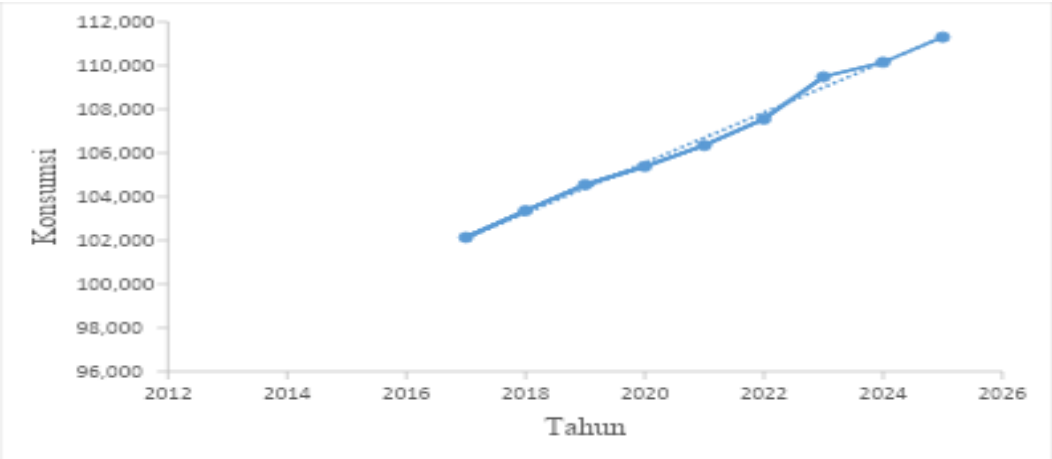
Tabel 1.1 Data Konsumsi *Methyl Ester Sulfonat* di Indonesia

Tahun	Konsumsi (Ton/Tahun)
2017	102.137
2018	103.356
2019	104.549
2020	105.380
2021	106.346
2022	107.552
2023	109.487
2024	110.149
2025	111.300

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2026)

Berdasarkan Tabel 1.1, konsumsi MES di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahun. Peningkatan ini dipengaruhi oleh pertumbuhan industri deterjen, sabun, dan produk pembersih yang membutuhkan surfaktan ramah lingkungan. Kondisi

tersebut menyebabkan terjadinya selisih antara produksi dan konsumsi, sehingga kebutuhan dalam negeri belum sepenuhnya terpenuhi dan masih bergantung pada impor. Oleh karena itu, pendirian pabrik MES baru menjadi langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan impor serta memenuhi kebutuhan pasar domestik yang terus meningkat.



Gambar 1.1 Grafik Kebutuhan *Methyl Ester Sulfonat* pada Tahun 2017-2025

Tabel 1.2 Data Produksi *Methyl Ester Sulfonat* di Indonesia

Tahun	Produksi (Ton/Tahun)
2017	50.000
2018	50.000
2019	50.000
2020	50.000
2021	50.000
2022	50.000
2023	50.000

2024	50.000
2025	50.000

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2026)

Berdasarkan Tabel 1.2, produksi Metil Ester Sulfonat (MES) di Indonesia pada periode 2017–2025 cenderung tetap sebesar 50.000 ton/tahun. Hal ini disebabkan karena kapasitas produksi mengikuti kapasitas terpasang pabrik yang telah beroperasi, yaitu PT Wilmar Nabati Indonesia dengan kapasitas 50.000 ton/tahun. Dalam industri kimia, kapasitas produksi umumnya tidak mengalami perubahan setiap tahun kecuali dilakukan ekspansi atau pembangunan pabrik baru. Hingga tahun 2025 belum terdapat penambahan kapasitas produksi MES di dalam negeri, sehingga angka produksi relatif konstan.

Tabel 1.3 Data Impor *Methyl Ester Sulfonat* di Indonesia

Tahun	Kapasitas (Kg/Tahun)	Kapasitas (Ton/Tahun)	Persentase Pertumbuhan (%)
2017	18.795.926	18.795.926	0
2018	23.483.142	23.483.142	24,937
2019	26.309.363	26.309.363	12,0351
2020	31.959.212	31.959.212	21,4747
2021	28.884.465	28.884.465	-9,6208
2022	25.014.675	25.014.675	-13,3975
2023	34.336.458	34.336.458	37,3852
2024	39.805.560	39.805.560	15,8268

2025	44.844.144	44.844.144	12,66
Rata – Rata Pertumbuhan			12,66%

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2026)

Badan Pusat Statistik (2026), menyatakan bahwa volume impor *Methyl Ester Sulfonat* (MES) periode 2017–2025 menunjukkan pola yang fluktuatif. Impor cenderung meningkat dan tetap berada pada angka yang cukup tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun Indonesia telah melakukan ekspor, kebutuhan dalam negeri masih belum sepenuhnya terpenuhi oleh produksi domestik sehingga tetap memerlukan impor.

Kebutuhan impor *methyl ester sulfonate* dapat diprediksi dengan persamaan berikut.

$$F = F_0 (1 + i) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

F = Perkiraan kebutuhan metil ester sulfonat pada tahun 2031 (Ton)

F₀ = Kebutuhan metil ester sulfonat pada tahun 2021 (Ton)

i = Pertumbuhan rata-rata

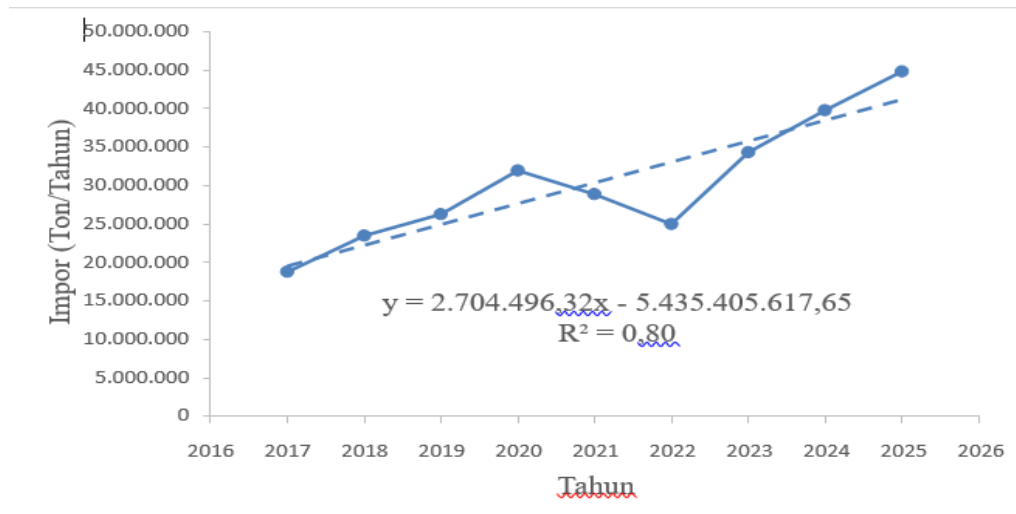
n = Selisih tahun data terakhir dengan tahun pendirian pabrik (Tahun)

(Peter & Timmerhaus, 2003)

Pabrik direncanakan beroperasi pada tahun 2031, sehingga digunakan n = 5 untuk mengetahui kebutuhan *methyl ester sulfonate* di Indonesia.

$$F_{\text{impor}} = 44.844.144 (1+0,126630)^5 = 81.403,164 \text{ Ton/tahun}$$

Pabrik *methyl ester sulfonate* didirikan untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia. Kosumsi metil ester sulfonat di indonesia diperoleh berdasarkan selisih kebutuhan impor *methyl ester sulfonate*.



Gambar 1.2 Grafik Impor *Methyl Ester Sulfonat* pada Tahun 2017-2025

Impor juga mengalami kecenderungan meningkat dari 18.796 ton/tahun pada 2017 menjadi 39.805 ton/tahun pada 2024, meskipun terjadi fluktuasi pada beberapa tahun tertentu. Tingginya volume impor ini menunjukkan bahwa kebutuhan MES dalam negeri terus bertambah dan belum sepenuhnya dapat dipenuhi oleh kapasitas produksi domestik. Secara keseluruhan, kedua grafik tersebut menggambarkan bahwa Indonesia berperan sebagai negara eksportir sekaligus masih bergantung pada impor untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri.

Hasil prediksi pada tahun 2031 menunjukkan bahwa konsumsi MES di Indonesia diperkirakan mencapai 124.598,05 ton/tahun, sedangkan kapasitas produksi dalam negeri masih sebesar 50.000 ton/tahun.

Tabel 1.4 Pertumbuhan Impor, Produksi, dan Konsumsi Metil Ester Sulfonat di Indonesia

Tahun	Total Impor (Ton/Tahun)	Produksi	Konsumsi (Ton/Tahun)	Persentase Pertumbuhan (%)
2017	18.795.926	0	6.798,0414	0
2018	23.483.142	0	12.477,7358	83,5490

2019	26.309.363	0	10.486,2688	-15,9602
2020	31.959.212	0	13.174,5472	25,6362
2021	28.884.465	0	9.099,8002	-30,9289
2022	25.014.675	0	6.284,895	-30,9337
2023	34.336.458	0	14.253,1124	126,7836
2024	39.805.560	0	15.805,9955	10,8880
2025	44.844.144	0	18.069,144	14,32
Rata – Rata Pertumbuhan				22,9192

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2026)

Nilai prediksi data impor, produksi, konsumsi pada tahun 2031 dapat dicari dari data pertumbuhan rata-rata pertahun menggunakan pers. 2 dengan hasil yang tertera pada Tabel 1.5

Tabel 1.5 Prediksi Impor, Produksi, dan Konsumsi pada Tahun 2031

Prediksi	Jumlah (Ton/Tahun)
Prediksi impor pada tahun 2031	81.403,164

Dari hasil prediksi data impor, ekspor, produksi, dan konsumsi *Methyl Ester Sulfonate*, peluang kapasitas pabrik pada tahun 2031 dapat dihitung menggunakan persamaan peluang kapasitas pabrik

$$F = F_0(1+i)^n$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa kebutuhan MES di Indonesia pada tahun 2031 diperkirakan sebesar 124.598,05 ton/tahun, sedangkan kapasitas produksi dalam negeri yang telah ada sebesar 50.000 ton/tahun, sehingga diperoleh peluang kapasitas pabrik sebesar 74.598,05 ton/tahun.

Karena pabrik serupa telah berdiri di Indonesia, maka penentuan kapasitas produksi untuk pabrik MES yang akan didirikan pada tahun 2031 tidak diambil seluruhnya dari peluang kapasitas yang tersedia. Oleh karena itu kapasitas pabrik yang dirancang diambil sebesar 100% dari peluang kapasitas pabrik, sehingga diperoleh kapasitas produksi sekitar 80.000 ton/tahun.

Tabel 1.6 Data Ekstrapolasi Kebutuhan *Methyl Ester Sulfonat* Diindonesia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2026	92.213
2027	97.887
2028	103.912
2029	110.310
2030	117.102
2031	124.598

Terdapat beberapa pabrik di dunia yang sudah memproduksi MES dengan kapasitas yang berbeda-beda seperti yang di tampilkan pada Tabel 1.7.

Adapun pabrik-pabrik dari *Methyl Ester Sulfonat* di dunia dapat dilihat pada Tabel 1.7

Tabel 1.7 Pabrik *Methyl Ester Sulfonat* Didunia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
KLK OLEO (KL-Kepong Oleomas)	Pulau Indah, Selangor – Malaysia	150.000 ton/tahun
Lion Eco Chemicals (Lion Corporation Group)	Tanjung Langsat, Johor – Malaysia	50.000 ton/tahun

PT Wilmar Nabati Indonesia	Gresik, Jawa Timur – Indonesia	50.000 ton/tahun
Zhejiang Zanyu Technology Co., Ltd	Zhejiang – China	60.000 ton/tahun
Lion Corporation (Japan plant)	Jepang	40.000 ton/tahun
Dersa	Bogotá – Kolombia	15.000 ton/tahun
Shandong Jinlun Chemical	China	60.000 ton/tahun
Guangzhou Langqi	China	36.000 ton/tahun

(Sumber: Tobori dan Kakui, 2019)

Berdasarkan tabel 1.7 dapat disimpulkan bahwa kapasitas produksi MES adalah berkisar 15.000-150.000 ton per tahun. Hal ini menjadi acuan dalam penentuan batas kapasitas produksi untuk perancangan pabrik yang akan dibangun. Oleh karena itu, pabrik direncanakan untuk memproduksi MES dengan kapasitas 80.000 ton per tahun.

1.8 Seleksi Pemilihan Proses

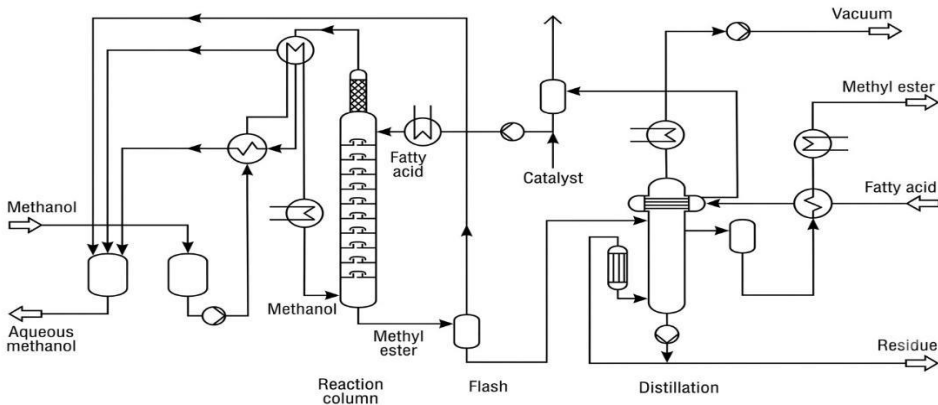
1.8.1 Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi merupakan proses konversi *free fatty acid* menjadi ester, dimana pada proses ini terjadi reaksi antara minyak atau lemak dengan alkohol. Proses esterifikasi biasanya menggunakan jenis katalis asam kuat seperti asam sulfat (Amalia dkk., 2021). Esterifikasi biasanya dilakukan untuk membuat metil ester dari minyak yang memiliki kadar FFA lebih dari 5%. Biasanya proses esterifikasi diikuti dengan proses transesterifikasi, karena trigliserida tidak terkonversi menjadi metil ester

(Tabatabaei dan Nizami, 2023). Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester adalah:



Proses esterifikasi berlangsung selama 4-70 jam pada temperatur 50-80°C dan menghasilkan yield sebesar 90% pada tekanan 1 atm. Selama proses berlangsung tidak terjadi proses saponifikasi karena menggunakan katalis asam, namun katalis asam berpotensi membuat alat mengalami korosi (Tabatabaei dan Nazami, 2023). Flowsheet proses esterifikasi (Mancini dan Bradley, 2016) dapat dilihat dari Gambar 1.3



Gambar 1.3 Flowsheet Proses Esterifikasi

a. Uji Ekonomi Awal Proses Esterifikasi

Tabel 1.8 Data Ekonomi Proses Esterifikasi

No	Bahan yang Digunakan	Berat Molekul (kg/kmol)	Harga (Rp/Kg)
1.	Bahan Baku Asam Lemak	220	14.500
2.	Metanol	32	7.000

3.	Produk Metil Ester	214	32.000
4.	Air	18	0

Berdasarkan data diatas, maka dihitung perhitungan ekonomi (PE) awal sebagai berikut:



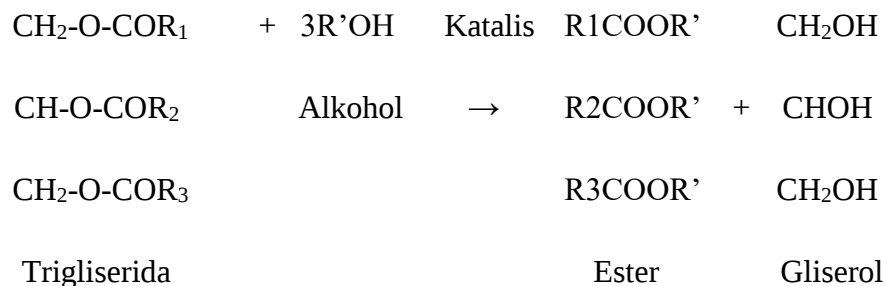
$$\text{PE} = \text{Harga Produk} - \text{Harga bahan baku}$$

$$\begin{aligned} \text{PE} &= (\text{BM Metil Ester} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) - (\text{BM Asam lemak} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) + \\ &\quad (\text{BM Metanol} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) \\ &= 6.848.000 - (3.190.000 + 224.000) \\ &= \text{Rp } 3.434.000 \end{aligned}$$

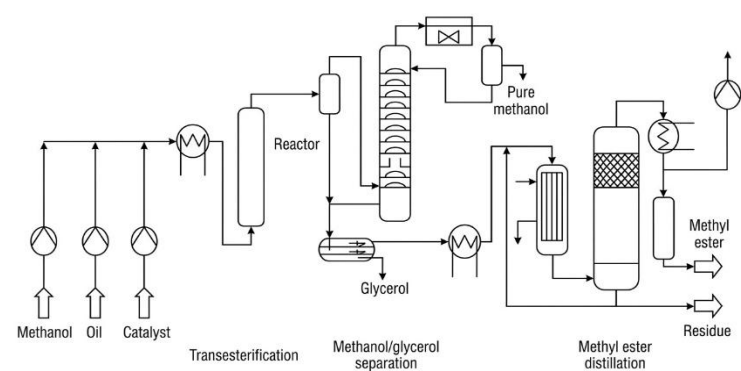
Setelah dilakukan perhitungan ekonomi, diperoleh keuntungan untuk proses esterifikasi adalah sebesar Rp 3.434.000

1.8.2 Proses Transesterifikasi

Proses transesterifikasi merupakan reaksi antara trigliserida yang terkandung pada minyak atau lemak dengan alkohol rantai pendek seperti metanol dan etanol. Terdapat dua jenis katalis yang dapat digunakan pada proses ini yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen seperti KOH dan NaOH, sedangkan katalis heterogen berupa katalis asam, basa, biokatalis dan bifungsional (Amalia dkk., 2021) Reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut:



Dalam proses ini perlu menggunakan bahan baku dengan kandungan FFA yang rendah atau akan terjadi saponifikasi karena katalis akan bereaksi dengan FFA membentuk sabun. Larutan alkohol dan katalis ditambahkan sebelum reaksi berlangsung. Reaksi ini berlangsung pada temperatur 60-70°C selama 1-2 jam dengan *yield* sebesar 98% pada tekanan 1 atm (Tabatebeai dan Nazami, 2023). *Flowsheet* proses transesterifikasi (Tabatebeai dan Nazami, 2023) dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Uji Ekonomi Awal Proses Transesterifikasi

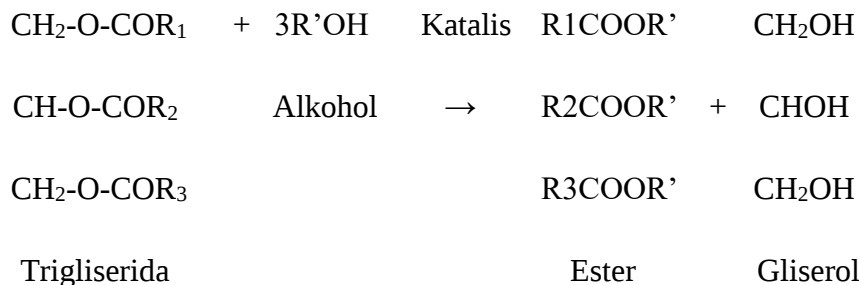
Tabel 1.9 Data Ekonomi Proses Transesterifikasi

N o	Bahan yang Digunakan	Berat Molekul (kg/kmol)	Harga (Rp/Kg)
1.	Bahan Baku CPKO	220 x 3	14.500
2.	Metanol	32	7.000
3	NaOH	40	6.500
3.	Produk Metil Ester	214 x 3	32.000

4.	Gliserol	92	22.000
----	----------	----	--------

Berdasarkan data diatas, maka dihitung perhitungan ekonomi (PE) awal sebagai berikut:

Rx:



PE = Harga Produk – Harga bahan baku

$$\begin{aligned}
 \text{PE} &= (\text{BM Metil Ester} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) + (\text{BM Gliserol} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) - (\text{BM} \\
 &\quad \text{Trigliserida} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) + (\text{BM Metanol} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) \\
 &= (20.544.000 + 2.024.000) - (9.570.000 + 224.000) \\
 &= 22.568.000 - 9.794.000 \\
 &= \text{Rp } 12.774.000
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan ekonomi, diperoleh keuntungan untuk proses transesterifikasi adalah sebesar Rp 12.774.000

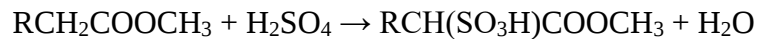
1.8.3 Proses Pembuatan Metil Ester Sulfonat

Proses sulfonasi adalah proses pembentukan asam sulfonat (SO_3) pada molekul *organic* dengan bantuan agen sulfonasi. Agen sulfonasi merupakan komponen atau bahan yang dapat menggantikan ikatan *hydrogen* dalam suatu senyawa dengan gugus sulfonat (SO_3) (Jihan dkk., 2020). Proses sulfonasi akan membentuk *Methyl Ester Sulfonic Acid* (MESA). MESA bersifat asam sehingga perlu dilakukan proses netralisasi. Proses netralisasi merupakan reagen NaOH sehingga nantinya akan membentuk produk MES yang aman digunakan (Hovda, 1996). Terdapat beberapa

agent sulfonasi pada proses sulfonasi dalam pembuatan MES yaitu Oleum/H₂SO₄ dan Gas SO₃.

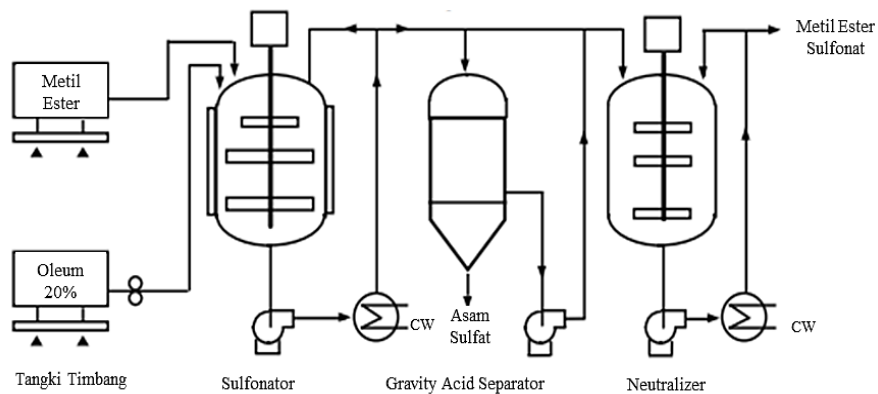
1.8.4 Sulfonasi Oleum/ H₂SO₄

Reaksi sulfonasi dengan reagent oleum biasanya berhenti ketika konsentrasi asam dalam campuran reaksi turun menjadi kurang dari sekitar 90%. Reagen oleum dapat digunakan untuk sulfonat aromatik dan alkohol baik secara *bacth* ataupun kontinu (Putri dan Mutain,2020). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Pemilihan material yang digunakan reaktor sangat penting untuk diperhatikan karena sifat dari H₂SO₄ yang sangat korosif akan membuat alat cepat korosi sehingga penggunaan alat tidak dapat bertahan lama. Proses ini mempunyai keuntungan tersendiri yaitu harga oleum sangat murah yaitu sekitar Rp. 3.209/kg dan modal peralatan rendah.

Namun, proses ini mempunyai kelemahan karena merupakan proses kesetimbangan yang menyisakan sejumlah besar asam sulfat yang tidak bereaksi. Limbah asam harus dipisahkan dari campuran reaksi dan selanjutnya dibuang. Sementara itu, air yang terbentuk selama reaksi dihilangkan dengan distilasi azeotropic air dan bahan baku yang tidak bereaksi. Air kemudian dipisahkan dan dikembalikan ke bejana reaksi. Proses sulfonasi dengan Oleum/H₂SO₄ (Foster, 1997) dapat dilihat pada Gambar 1.5.



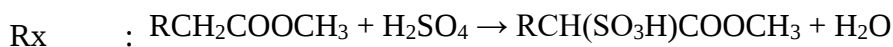
Gambar 1.5 Flowsheet Proses Sulfonasi dengan Oleum/ H_2SO_4

Uji Ekonomi Awal Proses Sulfonasi Oleum/ H_2SO_4

Tabel 1.10 Data Ekonomi Proses Sulfonasi Oleum/ H_2SO_4

N o	Bahan yang Digunakan	Berat Molekul (kg/kmol)	Harga (Rp/Kg)
1	Bahan Baku <i>Methyl Ester</i>	214	32.000
2.	H_2SO_4	98	5.000
3.	NaOH	40	6.500
4.	Produk MES	240	43.000
5.	Air	18	0

Berdasarkan data diatas, maka dihitung perhitungan ekonomi (PE) awal sebagai berikut:



PE = Harga Produk – Harga bahan baku

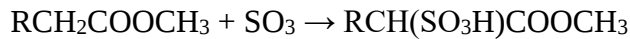
PE = (BM MESA x Harga x Mol) – (BM *Methyl Ester* x Harga x Mol + BM

$$\begin{aligned}
& \text{H}_2\text{SO}_4 \times \text{Harga} \times \text{Mol} + \text{BM NaOH} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) \\
& = 10.320.000 - (6.848.000 + 490.000 + 260.000) \\
& = 10.320.000 - 7.598.000 \\
& = \text{Rp } 2.722.000
\end{aligned}$$

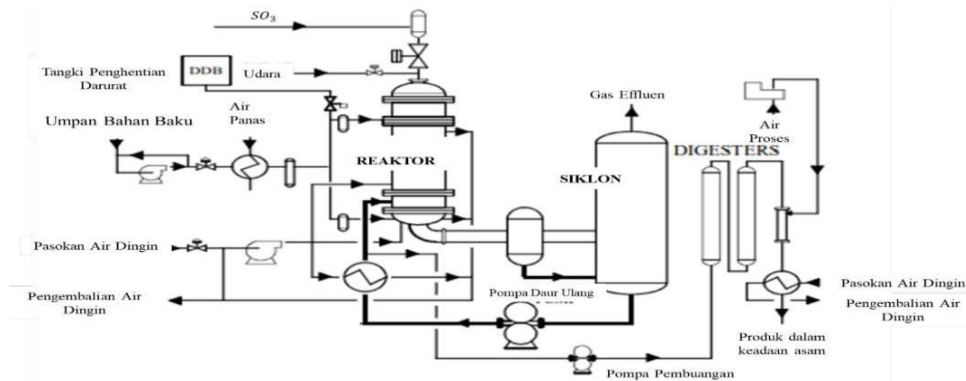
Setelah dilakukan perhitungan ekonomi, diperoleh keuntungan untuk proses Sulfonasi H_2SO_4 adalah sebesar Rp 2.722.000

1.8.5 Sulfonasi SO_3

Proses sulfonasi udara/ SO_3 adalah proses langsung di mana gas SO_3 diencerkan dengan udara yang sangat kering dan bereaksi langsung dengan bahan baku organik. Proses udara/ SO_3 adalah proses kontinu skala besar yang paling cocok untuk beroperasi dalam jangka waktu yang panjang secara terus menerus. Terdapat beberapa cara untuk mendapatkan gas SO_3 yaitu SO_3 dari oleum yang dididihkan, SO_3 cair, dan pembakaran belerang dalam peralatan yang dirancang khusus untuk memproduksi gas SO_3 untuk sulfonasi. Reaksi yang terjadi dalam proses sulfonasi menggunakan SO_3 untuk membentuk MESA yaitu sebagai berikut.



Harga SO_3 termasuk murah yaitu adalah sekitar 5.456/kg. Keuntungan proses sulfonasi menggunakan SO_3 yaitu biaya proses sulfonasi yang rendah, menghasilkan produk kualitas tinggi, dan paling cocok untuk volume produksi yang besar karena menggunakan sistem kontinu. Namun, proses sulfonasi ini perlu dikontrol ketat seperti rasio mol SO_3 dengan bahan baku yang diumpankan ke dalam reaktor. Apabila rasio mol melebihi 1,04 akan sangat merugikan pada warna produk atau kadar bahan yang tidak tersulfonasi. Proses sulfonasi dengan SO_3 (Foster, 1997) dapat dilihat pada Gambar 1.6



Gambar 1.6 Flowheet Proses Sulfonasi dengan SO_3

Gambar 1.6 menjelaskan proses produksi MESA dimana bahan baku diumpankan ke dalam reaktor beserta gas SO_3 . Proses ini berlangsung secara eksotermis, sehingga dibutuhkan air pendingin untuk mengontrol suhu dan memastikan reaksi berjalan optimal. MESA yang terbentuk dialirkan menuju siklon untuk memisahkan gas buangan, kemudian MESA dipompa kembali ke reaktor untuk meningkatkan efisiensi reaksi. Selanjutnya, MESA dialirkan menuju digester untuk memastikan reaksi berjalan sempurna (Foster, 1997).

a. Uji Ekonomi Awal Proses Sulfonasi SO_3

Tabel 1.11 Data Ekonomi Proses Sulfonasi SO_3

No	Bahan yang Digunakan	Berat Molekul (kg/kmol)	Harga (Rp/Kg)
1.	Bahan Baku <i>Methyl Ester</i>	214	32.000
2.	SO_3	80	11.000
3.	NaOH	40	6.500

4.	Produk MES	240	43.000
----	--------------------------	-----	--------

Berdasarkan data diatas, maka dihitung perhitungan ekonomi (PE) awal sebagai berikut:



PE = Harga Produk – Harga bahan baku

$$\begin{aligned}
 PE &= (BM \text{ MESA} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) - (BM \text{ Methyl Ester} \times \text{Harga} \times \text{Mol} + BM \\
 &\quad SO_3 \times \text{Harga} \times \text{Mol} + BM \text{ NaOH} \times \text{Harga} \times \text{Mol}) \\
 &= 10.320.000 - (6.848.000 + 880.000 + 260.000) \\
 &= 10.320.000 - 7.998.000 \\
 &= \text{Rp } 2.332.000
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan ekonomi, diperoleh keuntungan untuk proses Sulfonasi SO_3 adalah sebesar Rp 2.332.000

1.9 Pemilihan Proses

Secara umum, terdapat dua proses pembuatan metil ester, yaitu proses esterifikasi dan proses transesterifikasi. Adapun perbandingan anatar kedua proses pembuatan metil ester tersebut dapat dilihat pada tabel 1.10.

Tabel 1.12 Perbandingan Proses Pembentukan Metil Ester

Kriteria	Esterifikasi	Transesterifikasi
Konversi	90%	98%
Tekanan	1 atm	1 atm
Temperatur	50-80 °C	60-70°C
ΔH	-25 kJ/mol	-10 kJ/mol

Katalis	Asam	Basa
Saponifikasi	Tidak terjadi	Ada kemungkinan terjadi
Hasil Samping	Air	Gliserol
Analisa Ekonomi	Rp 3.434.000	Rp 12.774.000

Berdasarkan Tabel 1.10 dalam pembuatan metil ester dipilih proses transesterifikasi karena memenuhi beberapa pertimbangan, yaitu:

- 1) Menghasilkan metil ester dengan konversi 98% pada tekanan yang sama yaitu 1 atm.
- 2) Temperatur lebih stabil yaitu pada 60-70°C.
- 3) Menghasilkan produk samping gliserol yang memiliki nilai jual lebih tinggi dibandingkan dengan air.
- 4) Untuk menghindari terjadinya saponifikasi dikarenakan FFA yang tinggi pada bahan baku akan bereaksi dengan katalis basa, maka ditetapkan standar FFA bahan baku CPKO $\leq 2\%$.

Pilihan proses sulfonasi bergantung pada banyak faktor. Salah satu yang terpenting adalah produk yang diinginkan dan kualitas yang dibutuhkan. Faktor kedua adalah sistem pengoperasiannya batch atau kontinyu. Faktor ketiga yaitu dari segi biaya reagen, peralatan proses, dan pembuangan limbahnya dan faktor lainnya. Adapun perbandingan antara kedua *reagent* sulfonasi dapat dilihat pada Tabel 1.11 berikut.

Tabel 1.13 Perbandingan reagent sulfonasi dalam pembuatan MES

Faktor Pembanding	Oleum/H₂SO₄	Gas SO₃
Sistem Pemrosesan	<i>Batch</i> atau <i>Continuous</i>	<i>Continuous</i>
Harga <i>Reagent</i>	Sangat Murah	Murah

Sulfonasi	Menghasilkan air sebagai produk samping	Tidak ada air yang diprouksi
Rasio mol, penyelesaian reaksi	3-4 mol; reagent berlebih tidak terlalu kritikal	1 mol; reagent berlebih sangat kritikal
Kelarutan Reagent	Tidak bercampur dengan bahan <i>organic</i> ; reaksi 2 <i>liquid</i> yang tidak saling larut	Reaksi 2 fasa; <i>liquid gas</i>
Agitasi	Perlu dilakukan	Perlu dilakukan
Temperatur reaksi	Bervariasi (0-500°C); tergantung kualitas warna produk; pelarut sering digunakan untuk menurunkan viskositas	Proses pengadukan mengikuti profil tmperatur reaksi, tidak memerlukan temperature tinggi dan tidak menggunakan <i>solvent</i>
Viskositas	Relatif rendah	Tinggi
Kecepatan reaksi	Lambat	Sedang-Lambat
Reagent Boiling Point	290-317°C	44,5°C
ΔH	-70 kJ/mol	-150 kJ/mol
Analisa Ekonomi	Rp 2.722.000	Rp 2.332.000

Berdasarkan Tabel 1.11, maka dipilihlah proses sulfonasi menggunakan reagen gas SO₃ karena memenuhi beberapa pertimbangan, yaitu:

- Mampu menghasilkan skala produksi yang lebih besar.
- Kecepatan reaksi yang tinggi.

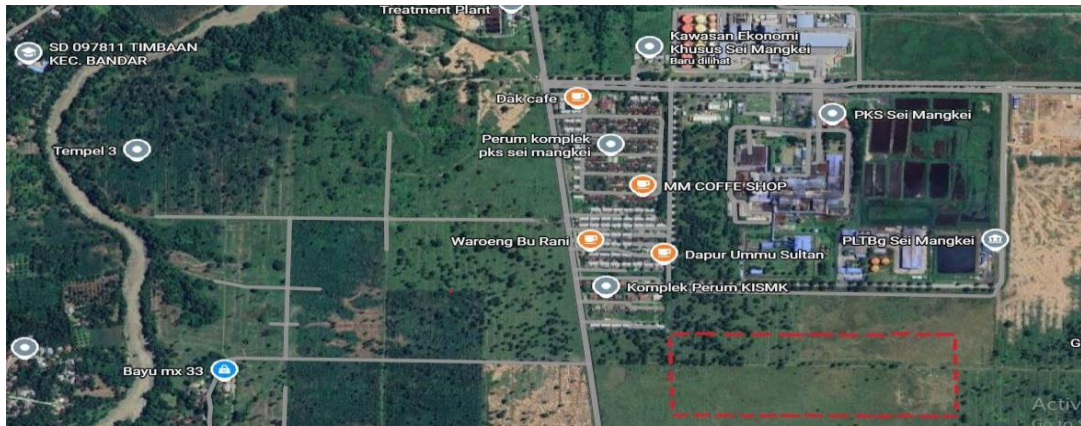
- c. Biaya pengoperasiannya lebih rendah karena biaya reagen yang murah, tidak memerlukan agitasi dan tidak menghasilkan air sebagai produk samping.

Setelah mempertimbangkan keuntungan dan kerugian dari kedua proses, dapat diketahui bahwa proses transesterifikasi lebih unggul dalam memproduksi *Methyl Ester* daripada proses Esterifikasi. Selanjutnya proses lanjutan yaitu Sulfonasi jika dibandingkan secara keseluruhan dengan mempertimbangkan jangka panjang proses serta ketahanan alat lebih diunggulkan proses Sulfonasi dengan SO_3 . Dengan mempertimbangkan konsep keberlanjutan material dan energi, efisiensi yang tinggi, dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, proses yang dipilih adalah proses Transesterifikasi yang kemudian dilanjutkan dengan Sulfonasi SO_3 untuk perancangan pabrik Metil Ester Sulfonat ini.

1.10 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik memainkan peranan penting dalam hal operasional suatu pabrik mulai dari masa produksi hingga masa depan. Dalam proses penentuan lokasi pabrik dapat mempertimbangkan beberapa faktor utama seperti faktor ketersediaan bahan baku, pemasaran, utilitas, keadaan geografis dan masyarakat, transportasi, tenaga kerja, sistem penanganan dan pengolahan limbah pabrik, site dan karakteristik lokasi, serta peraturan perundang-undangan (Rafidanta dan Lusiani, 2021).

Pabrik metil ester sulfonat dari minyak inti sawit dengan kapasitas produksi 80.000 ton/tahun direncanakan akan didirikan di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei, Simalungun, Sumatera Utara. Gambar 1.7 menunjukkan peta lokasi perencanaan pabrik metil ester sulfonat.



Gambar 1.7 Lokasi Prarancangan Pabrik *Methyl Ester Sulfonat*

Penentuan lokasi pabrik perlu memperhatikan beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhinya antara lain:

1. **Penyediaan Bahan Baku**

Perusahaan yang kegiatan utamanya memproduksi barang harus memperhatikan hal-hal yang mendukung kelancaran produksinya seperti tersedianya bahan baku. Jumlah persediaan yang terlalu tinggi akan berakibat pemborosan pada biaya penyimpanan, namun apabila terlalu rendah juga dapat meningkatkan biaya karena perusahaan terus mengeluarkan biaya pembelian secara berulang. Bahan baku utama untuk memproduksi Metil Ester Sulfonat adalah minyak inti sawit, yang mana bahan baku tersebut didapatkan dari lokasi yang berdekatan dengan pabrik, yaitu minyak inti sawit dari PTPN IV PKO, Sei Mangkei.

2. **Utilitas**

Utilitas merupakan suatu unit penunjang utama dalam memperlancar jalannya proses produksi dalam suatu pabrik. Proses produksi tersebut harus dijaga agar tetap berkesinambungan. Berdasarkan kebutuhannya, utilitas pada pabrik pembuatan MES dari bahan baku CPKO adalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan uap (*steam*)
2. Kebutuhan air
3. Kebutuhan bahan bakar

4. Kebutuhan listrik

3. Transportasi

Sei Mangkei merupakan kawasan industri yang terletak dekat pelabuhan dan memiliki jalan tol yang menghubungkannya langsung dengan tol antar provinsi, sehingga baik pengiriman bahan baku maupun pengiriman produk ke konsumen dapat dilakukan dengan lancar.

4. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan sumber daya utama bagi keberlangsungan suatu produksi dalam perusahaan atau pabrik. Keberadaan tenaga kerja dalam suatu kegiatan produksi sangatlah diperlukan, terutama bagi mereka yang tingkat produktivitasnya memerlukan tingkat efisiensi dalam prosesnya (Aksin, 2018). Lokasi pabrik yang dipilih merupakan kawasan industri yang dikelilingi oleh beberapa kecamatan sehingga besar kemungkinan masyarakat sekitar dapat diikutsertakan dalam kegiatan pabrik.

5. Sarana dan Prasarana

Pendirian pabrik didaerah dengan mempertimbangkan bahwa didaerah tersebut telah memiliki sarana dan prasarana yang meliputi jalan, bank, jaringan telekomunikasi, sarana Pendidikan dan hiburan sehingga dapat meningkatkan taraf hidup dan kesejahteraan.

6. Pemasaran Produk

Daerah pemasaran sebagian besar ditujukan keluar kawasan ekonomi khusus Sei Mangkei, seperti pulau jawa dan kawasan industri lainnya di Indonesia, sehingga harus ditempuh melalui jalur darat dan laut. Hal ini tidak menjadi masalah karena MES adalah bahan baku penting industri deterjen dan pembersih yang permintaannya tinggi dan masih bergantung pada impor. Lokasi pabrik yang dekat dengan pelabuhan mendukung distribusi yang efisien serta membantu substitusi impor dalam negeri.

7. Perizinan dan Kebijakan Pemerintah

Secara teori izin diatur didalam peraturan perundangundangan asalkan dilakukan menurut aturan yang berlaku. Perizinan adalah dokumen dan bukti legalitas yang diberikan terhadap perorangan maupun badan hukum untuk kegiatan usaha

maupun non usaha berdasarkan peraturan perundang-undangan (Aminulloh, 2017). Pendirian suatu pabrik di kawasan industri akan lebih mudah untuk mengajukan perizinan.

8. Perluasan Pabrik

Daerah Sei Mangkei merupakan daerah yang dikelilingi oleh perkebunan kelapa sawit dan hanya terdapat satu pengukiman penduduk yang berada disekitarnya, sehingga untuk melakukan perluasan pabrik dapat dilakukan ke depannya.

9. Kondisi Daerah Lokasi/Iklim

Kondisi alam (Iklim) dari suatu area yang akan dibangun pabrik haruslah mendukung, dalam arti kondisinya tidak terlalu mengganggu jalannya operasi pabrik. Keadaan sekitar lahan pabrik haruslah diamati dan dimengerti, dengan maksud agar pada saat pabrik telah berdiri tidak ada masalah yang akan berkembang.

10. Bahaya Banjir dan Kesehatan

Pabrik yang akan didirikan harus memperhatikan keselamatannya. Kalimantan tidak termasuk daerah rawan banjir dan di kawasan ini memiliki keselamatan terpadu untuk menjaga dari hal-hal yang berbahaya.