

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar fosil yang terus meningkat sementara ketersediaannya terbatas, mendorong pengembangan bahan bakar alternatif dan bahan pendukung prosesnya (Alsultan et al., 2021). Dalam kerangka pembangunan industri nasional dan peningkatan daya saing, industri kimia berperan penting karena menyediakan bahan antara dan bahan penunjang bagi berbagai sektor, termasuk energi dan petrokimia (Yadav et al., 2023). Salah satu produk industri kimia yang mempunyai prospek yang baik yaitu sodium methylate.

Sodium methylate (CH_3ONa) merupakan senyawa organik yang penting dalam industri kimia, terutama sebagai bahan baku dalam pembuatan produk kimia lainnya seperti metil ester, biodiesel, dan berbagai reaksi kimia lainnya (M. S. Areamsuksai, 2016). Sodium methylate dapat diproduksi melalui reaksi antara natrium dan metanol. Penggunaan sodium methylate semakin meluas, terutama di sektor energi terbarukan, khususnya dalam proses transesterifikasi untuk produksi biodiesel. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi alternatif, permintaan akan sodium methylate sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel juga diperkirakan akan terus berkembang (Lin & Tseng, 2024).

Proses pembuatan sodium methylate umumnya menggunakan metanol sebagai bahan baku dan natrium logam sebagai reaktan (N. Areamsuksai et al., 2020). Reaksi tersebut menghasilkan sodium methylate dan gas hidrogen, yang dapat diolah lebih lanjut. Salah satu tantangan utama dalam produksi sodium methylate adalah pemisahan produk dari campuran reaksi yang mengandung air, metanol, dan sodium methylate. Untuk itu, teknologi pemisahan yang efisien sangat diperlukan dalam proses pabrikasi ini (Lin & Tseng, 2024).

Pemilihan teknologi pemisahan yang tepat akan menentukan efisiensi dan keberlanjutan proses produksi sodium methylate. Salah satu teknologi pemisahan yang sedang berkembang adalah *Reactive Distillation* dan pervaporasi menggunakan membran (Xu et al., 2025). Pervaporasi merupakan proses pemisahan berbasis membran yang memungkinkan pemisahan komponen-komponen yang memiliki perbedaan volatilitas, sehingga cocok digunakan untuk memisahkan metanol dari campuran metanolat yang dihasilkan dalam reaksi (Xu et al., 2025). Dengan menggunakan membran, proses

pemisahan dapat dilakukan dengan energi yang lebih efisien dibandingkan dengan metode konvensional seperti distilasi.

Saat ini kebutuhan sodium methyrate di Indonesia disuplai melalui impor dari luar negeri. Ketidaktersediaannya industri sodium methyrate di Indonesia membuat kegiatan impor terus dilakukan. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan sodium methyrate di Indonesia, pendirian pabrik ini dapat memiliki peluang yang besar karena kebutuhan sodium methyrate cenderung meningkat dan pendirian pabrik ini diharapkan dapat mengurangi pengeluaran devisa negara.

Berdasarkan kebutuhan di Indonesia yang terus meningkat dan kekurangan dari pabrik yang sudah berdiri maka akan dirancang pabrik sodium methyrate di Indonesia.

1.2 Kapasitas Rancangan

Dalam menentukan kapasitas rancangan suatu pabrik perlu ditinjau berdasarkan kapasitas minimum atau sama dengan kapasitas pabrik yang sudah ada dan mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri. Untuk dapat menentukan kapasitas pabrik, ada beberapa hal yang dapat menjadi pertimbangan, yaitu proyeksi kebutuhan sodium methyrate di Indonesia, ketersediaan bahan baku, dan proses yang digunakan.

1.2.1 Proyeksi Kebutuhan Sodium Methyrate di Indonesia

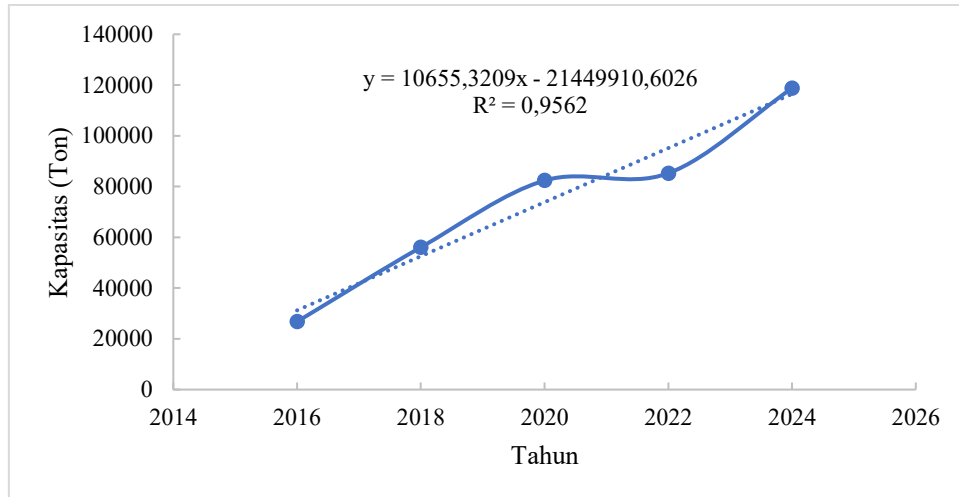
Permintaan akan sodium methyrate di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Meskipun kebutuhan sodium methyrate cenderung meningkat, hingga saat ini belum terdapat pabrik di Indonesia yang memproduksinya. Guna memenuhi kebutuhan sodium methyrate, Indonesia masih melakukan kegiatan impor. Dilihat dari data impor pada tabel 1.1, penggunaan sodium methyrate menunjukkan peningkatan.

Tabel 1.1. Kebutuhan Sodium Methyrate di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2026)

Tahun	Impor (Ton)
2016	26.777,82
2018	56.051,25
2020	82.375,02
2022	85.253,66
2024	118.729,82

Kebutuhan sodium methyrate diperkirakan akan terus bertambah dalam beberapa tahun mendatang, hal ini berkaitan dengan perkembangan dari industri

biodiesel yang terus berlangsung, sehingga penggunaan sodium methylate sebagai katalis dalam industri tersebut dan beberapa industri lainnya akan terus mengalami peningkatan. Dilihat dari Gambar 1.1. data kebutuhan sodium methylate di Indonesia.



Gambar 1. 1 Data Kebutuhan Sodium Methylate di Indonesia

Gambar 1.1 menunjukkan grafik proyeksi kebutuhan sodium methylate melalui aktivitas impor dengan menggunakan metode regresi linier. Dari persamaan didapatkan persamaan $y = 10655,3209x - 21449910,6026$ dan nilai $R^2 = 0,9562$ dimana x merupakan tahun produksi. Belum adanya pabrik sodium methylate di Indonesia menyebabkan nilai impor semakin meningkat karena aplikasi sodium methylate yang banyak digunakan dalam industri. Persamaan diatas digunakan untuk memprediksi kebutuhan sodium methylate pada tahun selanjutnya. Pabrik sodium methylate akan dibangun pada tahun 2026 dengan waktu pembangunan pabrik selama 2 tahun. Pabrik akan beroperasi pada tahun 2028 oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan proyeksi kebutuhan sodium methylate di Indonesia sejak pabrik beroperasi yaitu pada tahun 2028.

$$y = 10655,3209x - 21449910,6026$$

dimana y = jumlah impor sodium methylate (ton/tahun)

x = tahun 2028

Pabrik sodium methylate akan beroperasi pada tahun 2028 dimana perkiraan kebutuhan sodium methylate di Indonesia pada tahun 2028 sebesar 159.080 ton.

1.2.2 Kapasitas Produksi Komersial yang Sudah Ada di Dunia

Sodium methylate yang dihasilkan melalui reaksi antara natrium dan metanol, berperan penting sebagai katalis dalam proses transesterifikasi untuk produksi

biodiesel. Penggunaan katalis ini meningkatkan efisiensi konversi minyak nabati atau hewani menjadi biodiesel (Ningtyas, et al., 2013). Pada tahun 2025, Indonesia memproduksi sekitar 12,1 juta kiloliter (kL) biodiesel, meskipun target yang ditetapkan adalah 15,6 juta kL (Kementerian ESDM, 2025). Produksi biodiesel terbesar berasal dari Provinsi Sumatera dengan volume total 5,8 juta kL. Provinsi lainnya seperti Jawa Timur, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Selatan juga berkontribusi signifikan dalam produksi biodiesel nasional (Kementerian ESDM, 2025).

Penentuan kapasitas pabrik sodium methylate yang akan didirikan harus berada diatas kapasitas minimum atau sama dengan kapasitas minimum pabrik yang telah berjalan. Pabrik sodium methylate belum pernah dibangun di Indonesia sehingga untuk melihat data kapasitas minimum produksi diambil dari produsen sodium methylate yang berada di luar negeri, yang dapat dilihat pada tabel 1.2 berikut:

Tabel 1. 2 Kapasitas pabrik sodium methylate yang sudah berdiri di dunia (Market.us, 2024)

Industri	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)	Sumber
Evonik corporation	USA	90.000	https://www.marketresearchfuture.com/reports/sodium-methylate-market-7542
BASF	Brazil	90.000	https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2024/07/p-24-237
MSSA (ICIG Group)	Prancis	40.000	https://www.chemengonline.com/mssa-doubles-production-capacity-for-sodium-methylate-in-la-rochelle-france/
SHF Chemical	China	20.000 ton (padat), 160.000 ton (cair)	https://www.shfchemical.com/about

$$\text{Mol NaOH} = \frac{183.167,732 \text{ ton}}{40 \text{ ton/mol}} = 4.579,193 \text{ ton mol}$$

$$\text{Mol CH}_3\text{OH} = \frac{225.601,936}{32 \text{ ton/mol}} = 7.050,061 \text{ ton mol}$$

	NaOH _(l)	+	CH ₃ OH _(l)	→	CH ₃ ONa _(s)	+	H ₂ O _(l)
mula-mula	4.579,1933		7.050,061		0		0
reaksi	4.579,1933		4.579,193		4.579,193		4579,193
kesetimbangan	0		2.470,867		4.579,193		4579,193

$$\begin{aligned} \text{Produk CH}_3\text{ONa} &= \text{mol CH}_3\text{ONa} \times \text{Mr CH}_3\text{ONa} \\ &= 4.579,193 \times 54,03 \text{ ton/ton mol} \\ &= 247.368,02 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka dengan bahan baku natrium hidroksida dan methanol yang tersedia dapat menghasilkan produk sodium methylate sebanyak 247.368,02 ton.

Berdasarkan kebutuhan dalam negeri yang semakin meningkat dan ketersediaan bahan baku yang dapat mencukupi kapasitas produksi maka perkiraan kapasitas pabrik sodium methylate yang akan dibangun direncanakan sebesar 80.000 ton/tahun. Hal ini sesuai dengan data minimal kapasitas yaitu 15.000 ton/tahun dan maksimal 160.000 ton/tahun. Kapasitas ini digunakan untuk memenuhi 50% kebutuhan dalam negeri dengan mengikuti UU No. 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktek Monopoli Dan Persaingan Usaha Tidak Sehat sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap impor sodium methylate.

1.3 Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik ditentukan berdasarkan beberapa faktor, antara lain ketersediaan bahan baku, utilitas, tenaga kerja, daerah pemasaran, serta potensi perluasan pabrik di masa depan. Dengan mempertimbangkan semua faktor tersebut, pabrik sodium methylate akan didirikan mengikuti hasil analisa lokasi berdasarkan faktor tersebut.

1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama dalam produksi sodium methylate adalah metanol dan natrium hidroksida (NaOH) ditampilkan pada tabel 1.4 pabrik penyedia bahan baku. Metanol akan dipasok dari PT. Kaltim Methanol Industri yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur, dengan menggunakan kendaraan pengangkut besar seperti truk tangki dengan kapasitas antara 20.000 hingga 30.000 liter (ChengLi Special Automobile Co, 2025). Sementara itu, natrium hidroksida akan diperoleh dari PT

Asahimas Chemical pabrik yang berada dekat pesisir memudahkan akses ke jalur laut untuk pengangkutan bahan baku dan distribusi produk.

Tabel 1. 4 Pabrik penyedia bahan baku

Bahan Baku	Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
Natrium Hidroksida (NaOH)	PT Asahimas Chemical	Cilegon, Banten	700.000 ton/tahun
Metanol (CH ₃ OH)	PT. Kaltim Methanol Industri	Bontang, Kalimantan Timur	660.000 ton/tahun

Dengan kapasitas sebesar 80.000 ton/tahun yang bahan bakunya berasal dari Banten dan Kalimantan Timur maka daerah yang berpotensi untuk dijadikan sebagai tempat pembangunan pabrik yaitu Provinsi Kalimantan Timur dan Provinsi Banten.

1.3.2 Letak Pasar

Sodium methyrate biasa digunakan sebagai katalis yang banyak digunakan pada bidang industri biodiesel. Letak pabrik yang relatif dekat dengan letak pasar akan mempermudah pendistribusian produk dan juga dapat menekan biaya pengeluaran untuk distribusi. Adapun beberapa industri biodiesel yang menggunakan produk sodium methyrate seperti yang tertera pada tabel dibawah ini.

Tabel 1.5. Pabrik Biodiesel yang Telah Berdiri di Indonesia (Abdul, 2023).

Industri	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT Musim Mas	Medan, Sumatera Utara	750.000
PT Musim Mas	Dumai, Riau	350.000
PT Wilmar Bioenergi Indonesia	Pelintung, Riau	1.650.000
PT Pelita Agung Agrindustri	Dumai, Riau	450.000
PT Cemerlang Energi Perkasa	Pelintung, Riau	350.000
PT Ciliandra Perkasa	Siak, Riau	350.000
PT Darmali Nusantara	Rengat, Riau	350.000
PT Bayas Biofuels	Jambi	300.000
PT LDC Indonesia	Lampung	450.000
PT Tunas Baru Lampung	Lampung	450.000
PT Sinar Mas Agro	Tarjun, Kalimantan	300.000

Industri	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT Wilmar Nabati Indonesia	Gresik, Jawa Timur	700.000
PT Sinar Mas Agro	Marunda, DKI Jakarta	300.000
PT Eterindo Green Energy	Bekasi, Jawa Barat	100.000
PT Eterindo Wahanatama	Gresik, Jawa Timur	120.000
PT Primanusa Palma Lestari	Gresik, Jawa Timur	150.000
PT Dabi Biofuels	Balikpapan, Kalimantan	150.000
PT Multi Nabati Sulawesi	Blitung, Sulawesi Utara	150.000

Dari tabel 1.5 berdasarkan jumlah industri terbanyak maka provinsi yang berpotensi dapat dijadikan sebagai tempat pendirian pabrik yaitu Provinsi Riau, Kalimantan Timur, dan Jawa Timur.

1.3.3 Utilitas

Unit utilitas merupakan unit penunjang yang membantu kelancaran proses produksi suatu pabrik. Unit utilitas berperan untuk menyediakan serta mendistribusikan bahan-bahan penunjang operasional pabrik untuk keperluan proses, pendingin, maupun keperluan rumah tangga pabrik seperti air dan listrik sehingga utilitas pabrik menjadi salah satu faktor yang harus dipertimbangkan. 8 Kebutuhan pabrik akan air dan listrik tentunya sangat besar sehingga pemilihan lokasi berperan penting dalam keberjalanan utilitas suatu pabrik.

Berdasarkan data pada tabel 1.6, kapasitas pembangkit listrik terbesar menurut provinsi-provinsi yang ada di Indonesia adalah sebagai berikut:

Tabel 1. 6 Data kapasitas pembangkit listrik di beberapa provinsi di Indonesia (Kementerian ESDM, 2024)

Provinsi	Daya mampu pembangkit PLN (MW)
Jawa Barat	6.742,72
Jawa Timur	5.873,84
Banten	5.812,82
Jawa Tengah	5.207,77
DKI Jakarta	4.680,77
Sumatera Utara	2.179,35
Sulawesi Selatan	1.079,08

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa provinsi dengan kapasitas pembangkit listrik terbesar adalah Jawa Barat, disusul oleh Jawa Timur dan Banten. Berdasarkan data pada (Kementerian ESDM, 2024), Untuk Provinsi Jawa Barat memiliki PLTU Indramayu dengan kapasitas 990 MW, PLTU Cirebon dengan kapasitas 1000 MW, dan PLTA Saguling di Kabupaten Bandung Barat dengan kapasitas 1600 MW. Provinsi Jawa Timur memiliki beberapa pembangkit listrik seperti pada kota Gresik memiliki pembangkit listrik dengan kapasitas sebesar 1200 MW, Pembangkit listrik Pacitan dengan kapasitas 730 MW, dan Pembangkit listrik Paiton dengan kapasitas 4000 MW. Sedangkan untuk Provinsi Banten memiliki PLTU Suralaya yang berada di Cilegon dengan kapasitas 4025 MW dan PLTU Labuan dengan kapasitas 1200 MW. Kota-kota yang disebutkan diatas berpotensi dijadikan tempat pendirian pabrik dikarenakan keperluan akan listrik dapat dengan mudah dipasok.

Selain listrik, air menjadi hal yang penting dalam keberjalanan suatu pabrik. Sebaiknya pabrik didirikan di daerah yang dekat atau memiliki banyak sumber air untuk menunjang proses pembuatan produk. Sumber air proses dapat dipasok dari sungai, pada tabel 1.7 merupakan sungai-sungai terpanjang yang berada di Indonesia:

Tabel 1. 7 Data sungai terpanjang di Indonesia

Provinsi	Nama Sungai	Panjang
Kalimantan Barat	Sungai Kapuas	1143 km
Kalimantan Timur	Sungai Mahakam	920 km
Kalimantan Tengah & Kalimantan Selatan	Sungai Barito	909 km
Sumatera Barat & Jambi	Sungai Batanghari	800 km
Sumatera Selatan	Sungai Musi	750 km
Jawa Tengah & Jawa Timur	Sungai Bengawan Solo	548 km

Selain memanfaatkan sumber air tawar dari Sungai, pabrik juga dapat menggunakan air laut sebagai bahan baku pada unit utilitas. Sejumlah Kawasan industri di Indonesia yang berlokasi dekat dengan wilayah pesisir meliputi Kawasan Industri Medan di Kota Medan, Sumatera Utara; Kawasan Industri Cilegon di Kota Cilegon, Banten; Kawasan Industri Tugu Wijaya di Kota Semarang, Jawa Tengah; serta Kawasan Industri Gresik, Jawa Timur. Keberadaan Kawasan-kawasan tersebut

menunjukkan bahwa wilayah yang berada di sekitar laut memiliki potensi yang tinggi untuk pengembangan dan pendirian pabrik, mengingat ketersediaan sumber air yang relatif melimpah.

1.3.4 Transportasi

Ketersediaan sarana transportasi menjadi aspek penting yang harus dipertimbangkan karena berkaitan langsung dengan kegiatan distribusi dan pengiriman produk sodium methylate. Oleh karena itu, diperlukan system transportasi yang memadai, baik melalui jalur darat maupun laut, seperti keberadaan jalan tol dan fasilitas Pelabuhan. Adapun daftar Pelabuhan internasional yang terdapat di Inonesia disajikan pada tabel 1.8 sebagai berikut.

Tabel 1. 8 Daftar pelabuhan internasional di Indonesia (Stefani, 2026)

No.	Nama Pelabuhan	Lokasi
1.	Pelabuhan Tanjung Priok	Jakarta, DKI Jakarta
2.	Pelabuhan Sunda Kelapa	Jakarta, DKI Jakarta
3.	Pelabuhan Merak	Cilegon, Banten
4.	Pelabuhan Cigading	Cilegon, Banten
5.	Pelabuhan Harbour Bay	Batam, Riau
6.	Pelabuhan Batam Center	Batam, Riau
7.	Pelabuhan Tanjung Perak	Surabaya, Jawa Timur
8.	Pelabuhan Bakauheni	Kab. Lampung, Lampung
9.	Pelabuhan Soekarno-Hatta	Makassar, Sulawesi Selatan
10.	Pelabuhan Belawan	Medan, Sumatera Utara
11.	Pelabuhan Semayang	Balikpapan, Kalimantan Timur

Berdasarkan Tabel 1.8, dapat diidentifikasi bahwa wilayah yang memiliki potensi untuk dijadikan Lokasi pendirian pabrik meliputi Kota Jakarta di Provinsi DKI Jakarta, Kota Cilegon di Provinsi Banten, serta Kota Batam di Provinsi Kepulauan Riau. Kondisi ini didukung oleh keberadaan lebih dari satu Pelabuhan ekspor-impor berskala besar pada masing-masing provinsi tersebut, Di samping itu, aspek ketersediaan dan kualitas sarana transportasi darat dari wilayah-wilayah tersebut juga perlu menjadi bahan pertimbangan lebih lanjut.

Tabel 1. 9 Jarak pelabuhan ke kawasan industri

No.	Nama Daerah	Jarak (km)
1.	Pelabuhan Tanjung Priok – Kawasan Berikat Nusantara	12,8
2.	Pelabuhan Sunda Kelapa - Kawasan Berikat Nusantara	22,5
3.	Pelabuhan Merak – Krakatau Industrial Estate Cilegon	8,8
4.	Pelabuhan Cigading – Krakatau Industrial Estate Cilegon	12,3
5.	Pelabuhan Harbour Bay – Kabil Integrated Industrial Park	24,9
6.	Pelabuhan Batam Center - Kabil Integrated Industrial Park	13,7

Dari tabel 1.8 dan 1.9 maka dapat disimpulkan bahwa daerah yang paling berpotensi untuk dijadikan tempat pendirian pabrik yaitu Kota Jakarta di Provinsi DKI Jakarta dan Kota Cilegon di Provinsi Banten disusul oleh Provinsi Riau. Hal ini dikarenakan selain mempunyai lebih dari satu pelabuhan untuk kegiatan ekspor dan impor tetapi juga memiliki jarak transportasi darat dari pelabuhan ke kawasan industri yang dekat.

1.3.5 Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan faktor fundamental dalam pendirian maupun operasional suatu pabrik guna menghasilkan produk yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Ketersediaan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi memadai sangat diperlukan untuk menjalankan serta mengoperasikan peralatan proses sehingga keberlangsungan dan keberhasilan kegiatan industri dapat tercapai. Pada tahun 2025, jumlah penduduk Indonesia tercatat sebesar 284.438.800 jiwa, dengan proporsi penduduk usia produktif (15–64 tahun) mencapai 69,3% dan tingkat pengangguran sebesar 4,68% (BPS, 2026b). Distribusi penduduk menurut wilayah kepulauan menunjukkan bahwa 55,58% penduduk berada di Pulau Jawa, 21,89% di Pulau Sumatera, 7,41% di Pulau Sulawesi, 6,31% di Pulau Kalimantan, 5,60% di wilayah Bali dan Nusa Tenggara, serta 3,21% di Pulau Maluku dan Papua (BPS, 2025). Data tersebut mengindikasikan bahwa konsentrasi penduduk Indonesia masih dominan di Pulau Jawa dan Sumatera. Keberadaan pabrik diharapkan dapat berperan dalam menyerap tenaga kerja, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat. Tingginya kepadatan penduduk berimplikasi pada besarnya jumlah pencari kerja dan tingkat pengangguran, sehingga kebutuhan akan tenaga kerja, baik tenaga kerja tidak terampil maupun tenaga kerja terampil, relatif mudah dipenuhi apabila pabrik didirikan di Pulau Jawa atau Sumatera. Selanjutnya,

pada tabel 1.10 disajikan data persentase tingkat pengangguran dan tamatan pendidikan tinggi di provinsi-provinsi yang berada di Pulau Sumatera dan Pulau Jawa per Agustus 2025 berdasarkan publikasi Badan Pusat Statistik.

Tabel 1. 10 Persentase pengangguran dan tamatan pendidikan tinggi di tiap provinsi di Indonesia (BPS, 2026b)

Provinsi	Pengangguran (%)	Tamat Pendidikan Tinggi (%)
Aceh	5,64	14,01
Sumatera Utara	5,32	11,14
Sumatera Barat	5,62	13,89
Riau	4,16	11,46
Jambi	4,26	10,66
Sumatera Selatan	3,69	10,30
Bengkulu	3,41	13,76
Lampung	4,21	7,78
Kep. Bangka Belitung	4,45	10,66
Kep. Riau	6,45	14,65
DKI Jakarta	6,05	20,82
Jawa Barat	6,77	9,92
Jawa Tengah	4,66	8,04
D.I. Yogyakarta	3,46	17,01
Jawa Timur	3,88	9,29
Banten	6,69	11,25

Berdasarkan data dari tabel 1.10, dapat disimpulkan bahwa daerah yang berpotensi untuk dijadikan lokasi pendirian pabrik berdasarkan tenaga kerja yang tersedia dengan memperhatikan indikator persentase pengangguran dan lulusan pendidikan tinggi yang memadai yaitu Provinsi DKI Jakarta, diikuti oleh Provinsi Jawa Barat dan Provinsi Banten.

1.3.6 Letak Geografis

Penentuan lokasi pabrik perlu mempertimbangkan tingkat keamanan wilayah, sehingga faktor lingkungan, termasuk kondisi iklim, tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kelangsungan proses produksi. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana hingga 2024, beberapa provinsi di Indonesia tercatat memiliki intensitas kejadian bencana yang relatif tinggi, yaitu Provinsi Jawa

Barat dengan 457 kejadian, Provinsi Jawa Timur sebanyak 454 kejadian, serta Provinsi Sumatera Utara dengan 250 kejadian. Sebaliknya, provinsi dengan frekuensi bencana yang rendah meliputi Provinsi Papua Pegunungan dengan 1 kejadian, Provinsi Papua Selatan dengan 3 kejadian, dan Provinsi Papua Barat Daya dengan 4 kejadian. Oleh karena itu, dalam proses penentuan lokasi pembangunan pabrik, kondisi dan tingkat kerawanan wilayah merupakan faktor yang sangat penting untuk diperhatikan. Pendirian pabrik diharapkan dilakukan pada daerah yang relatif aman dari risiko bencana, sehingga pemilihan lokasi sebaiknya menghindari provinsi-provinsi dengan tingkat kejadian bencana yang tinggi.

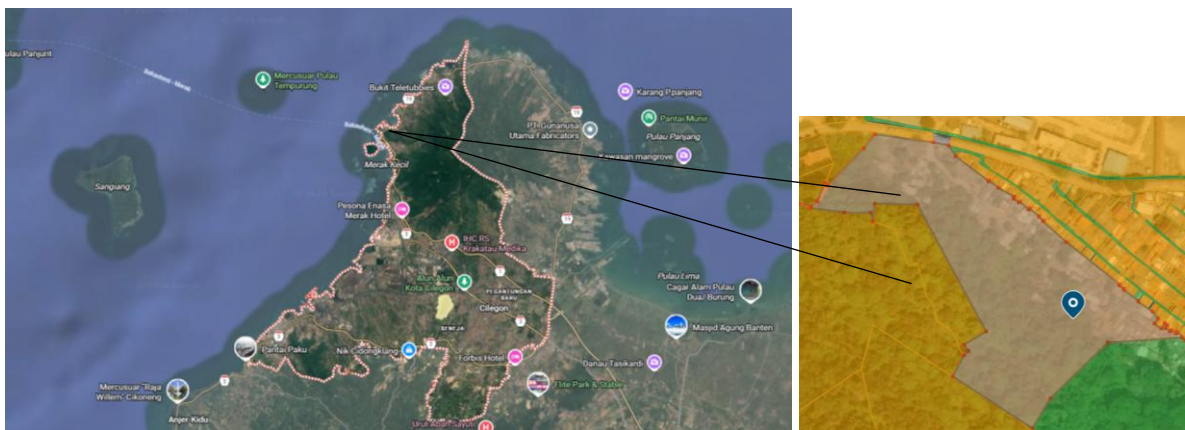
Berdasarkan pertimbangan dari faktor-faktor di atas maka perlu dilakukan penentuan lokasi yang paling tepat dan strategis untuk pendirian lokasi pabrik sehingga dilakukan penilaian terhadap alternatif lokasi pabrik.

Tabel 1. 11 Perbandingan alternatif pendirian lokasi pabrik

Lokasi	Bahan Baku	Letak Pasar	Utilitas	Transportasi	Tenaga Kerja	Letak Geografis	Total
Kota Cilegon	10	9	10	10	8	7	54
Kota Bontang	10	7	8	8	6	8	47
Kota Dumai	8	10	7	8	7	7	47
Gresik	7	9	9	8	7	7	47
Bekasi	6	8	9	9	9	6	47
Kota Cimahi	5	7	8	7	9	6	42
Kota Sukabumi	5	7	7	6	9	6	40
Serang	9	8	8	8	9	7	49
Pandeglang	9	6	6	6	9	7	43
Kota Serang	9	8	8	8	9	7	49
Kota Batam	7	8	8	9	9	7	48

Lokasi	Bahan Baku	Letak Pasar	Utilitas	Transportasi	Tenaga Kerja	Letak Geografis	Total
Karimun	6	7	6	7	9	7	42
Bintan	6	7	6	7	9	7	42

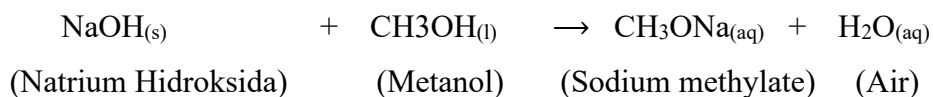
Berdasarkan hasil evaluasi yang tercantum pada Tabel 1.11, dapat dinyatakan bahwa Kota Cilegon di Provinsi Banten menunjukkan keunggulan pada berbagai aspek apabila dibandingkan dengan kota-kota lainnya. Selain itu adanya dukungan pemerintah terhadap pembangunan industri di Cilegon yang dilakukan melalui pengembangan klaster industri, penyediaan infrastruktur pendukung, serta peningkatan efisiensi layanan publik berbasis digital, khususnya dalam proses perizinan. Terdapat juga kolaborasi antara pemerintah, pelaku usaha, dan masyarakat dalam menciptakan iklim investasi yang kompetitif dan berkelanjutan (Andara, 2025). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Kota Cilegon memiliki posisi yang strategis dan layak dipertimbangkan sebagai lokasi pendirian pabrik sodium methylate.



Gambar 1. 2 Lokasi Pendirian Pabrik Sodium Methylate

1.4 Tinjauan Proses

Pembuatan sodium methylate pada skala industri umumnya dilakukan melalui proses reaksi netralisasi asam basa. Reaksi asam basa melibatkan senyawa basa (NaOH) dan asam (CH₃OH) yang membentuk senyawa alkoksida dengan bantuan pemanasan. Dalam hal ini, bahan utama yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) dan metanol (CH₃OH). Proses asam basa dalam pembuatan sodium methylate melibatkan penguraian natrium hidroksida di dalam larutan metanol, dimana terjadi reaksi kesetimbangan asam basa antar ion-ion penyusunnya. Reaksi utama yang terjadi dalam proses ini adalah sebagai berikut:



Di dalam reaksi ini:

- Natrium Hidroksida (NaOH), berfungsi sebagai sumber ion natrium (Na⁺).
- Metanol (CH₃OH), bereaksi dengan ion natrium yang terbentuk, menghasilkan sodium methylate.
- Air (H₂O), terbentuk sebagai produk sampingan dari ikatan OH⁻ yang lepas dari NaOH.

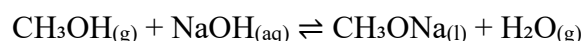
1.4.1 Macam-macam Proses Pembuatan Sodium methylate

Terdapat beberapa proses pembuatan sodium methylate yang telah dikembangkan sebagai berikut:

1. Proses Metanol dan NaOH

Proses produksi sodium methylate berdasarkan US Patent Kramis (1959) dilakukan secara kontinu di dalam kolom distilasi fraksionasi menggunakan bahan baku larutan natrium hidroksida berair dan metanol anhidrat. Larutan NaOH dialirkan dari bagian atas kolom, sedangkan metanol dalam fase uap dialirkan dari bagian bawah kolom secara berlawanan arah (countercurrent). Di dalam kolom, terjadi reaksi pembentukan sodium methylate sekaligus pemisahan air dari sistem. Produk bawah yang dihasilkan berupa larutan sodium methylate dalam metanol dengan konsentrasi sekitar 20–30%, sedangkan produk atas berupa campuran metanol-air.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



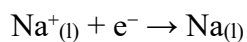
Kelemahan utama proses ini adalah masih terbentuknya air sebagai produk samping, sehingga kesetimbangan reaksi dapat bergeser kembali ke arah reaktan apabila air tidak segera dipisahkan. Selain itu, proses ini membutuhkan metanol anhidrat dalam jumlah besar sebagai reaktan sekaligus stripping agent, sehingga diperlukan sistem pemulihan metanol agar proses tetap ekonomis. Dengan demikian, proses ini masih memiliki keterbatasan karena pemisahan air hanya mengandalkan mekanisme stripping di dalam kolom. Selain itu, proses membutuhkan metanol anhidrat dalam jumlah besar sebagai reaktan sekaligus *stripping agent*, sehingga diperlukan sistem pemulihan metanol agar proses tetap ekonomis. Keberadaan air dalam sistem juga menjadi faktor kritis karena dapat menggeser kesetimbangan reaksi kembali ke arah reaktan dan menurunkan kualitas sodium methylate yang dihasilkan.

2. Proses *Downcell*

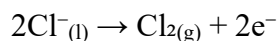
Menurut (Wilsiam H. Loftus, 1962), Proses Downs cell merupakan metode elektrolisis lelehan garam klorida untuk menghasilkan logam natrium. Pada proses ini, bahan baku utama yang digunakan adalah campuran natrium klorida (NaCl) dengan garam tambahan seperti kalsium klorida (CaCl₂) dan barium klorida (BaCl₂). Penambahan garam tersebut bertujuan untuk menurunkan titik leleh campuran elektrolit, sehingga proses elektrolisis dapat berlangsung pada suhu sekitar 590°C. Pada kondisi tersebut, ion natrium mengalami reduksi di katoda membentuk natrium cair, sedangkan ion klorida mengalami oksidasi di anoda membentuk gas klorin.

Reaksi elektrolisis yang terjadi pada proses Downs cell adalah sebagai berikut:

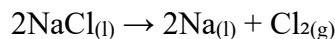
Katoda:



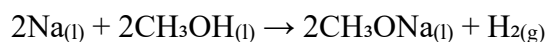
Anoda:



Reaksi keseluruhan:



Natrium cair yang dihasilkan dari proses ini kemudian dapat digunakan sebagai bahan antara dalam produksi sodium methylate melalui reaksi dengan metanol. Reaksi pembentukan sodium methylate dari natrium logam adalah sebagai berikut:



Meskipun proses Downs cell mampu menghasilkan natrium dengan kemurnian tinggi, proses ini memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan utama proses ini adalah kebutuhan suhu operasi yang sangat tinggi, yaitu sekitar 590°C, sehingga konsumsi energi menjadi besar dan peralatan harus dirancang agar tahan terhadap kondisi lelehan garam panas. Selain itu, proses ini menghasilkan gas klorin (Cl₂) sebagai produk samping yang bersifat toksik, korosif, dan berbahaya, sehingga memerlukan sistem penanganan gas dan pengendalian emisi yang ketat.

Kekurangan lainnya adalah proses Downs cell tidak secara langsung menghasilkan sodium methylate, melainkan hanya menghasilkan natrium logam sebagai produk antara. Natrium tersebut masih harus direaksikan kembali dengan metanol pada tahap proses terpisah. Hal ini menyebabkan alur proses menjadi lebih

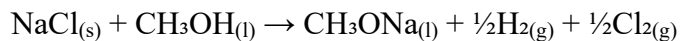
panjang dan kompleks. Selain itu, natrium cair memiliki reaktivitas yang sangat tinggi terhadap air dan udara, sehingga penyimpanan serta penanganannya harus dilakukan dalam kondisi inert. Apabila terjadi kontak dengan air atau kelembaban, natrium dapat bereaksi hebat dan menimbulkan risiko kebakaran maupun ledakan.

Dengan demikian, walaupun proses Downs cell dapat menghasilkan natrium dengan kemurnian tinggi, proses ini memiliki keterbatasan dari sisi konsumsi energi, kompleksitas proses, serta aspek keselamatan. Kebutuhan suhu tinggi, pembentukan gas klorin, penggunaan natrium cair yang sangat reaktif, serta perlunya tahap reaksi lanjutan dengan metanol menjadi faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penerapannya untuk produksi sodium methylate.

3. Proses Elektrolisa Metanol dan NaOH

Proses elektrolisa metanol dan natrium klorida merupakan metode produksi sodium methylate yang dilakukan secara elektrokimia. Pada proses ini, natrium klorida (NaCl) direaksikan dengan metanol (CH₃OH) di dalam sel elektrolisis dengan bantuan arus listrik searah (DC). Sel elektrolisis terdiri dari tiga bagian utama, yaitu ruang katoda, ruang buffer, dan ruang anoda. Masing-masing ruang dipisahkan oleh membran penukar ion untuk mengatur perpindahan ion dan mencegah terjadinya pencampuran produk yang tidak diinginkan.

Reaksi keseluruhan yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut:



Pada proses ini, sodium methylate terbentuk sebagai produk utama, sedangkan gas hidrogen (H₂) dan gas klorin (Cl₂) terbentuk sebagai produk samping. Produk sodium methylate yang dihasilkan dapat mencapai konsentrasi sekitar 30%, sehingga secara teoritis tidak memerlukan proses pemekatan tambahan. Namun, bahan baku yang digunakan harus memiliki kadar air sangat rendah karena keberadaan air dapat menghambat pembentukan sodium methylate dan menurunkan kemurnian produk.

Meskipun proses ini dapat menghasilkan sodium methylate dengan konsentrasi yang sesuai, proses elektrolisa memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan utama proses ini adalah kebutuhan investasi awal yang tinggi karena memerlukan sel elektrolisis khusus, membran penukar ion, serta sistem kelistrikan yang stabil. Selain itu, membran yang digunakan berpotensi mengalami fouling atau penurunan kinerja, sehingga memerlukan perawatan dan penggantian secara berkala.

Kekurangan lainnya adalah terbentuknya gas klorin dan gas hidrogen sebagai produk samping. Gas klorin bersifat toksik dan korosif, sedangkan gas hidrogen mudah terbakar dan berpotensi menimbulkan ledakan apabila bercampur dengan udara. Oleh karena itu, proses ini membutuhkan sistem pengamanan, ventilasi, dan penanganan gas yang ketat. Selain itu, konsumsi energi listrik juga menjadi faktor penting karena proses berlangsung berdasarkan reaksi elektrokimia. Dengan demikian, walaupun proses elektrolisa dapat menghasilkan sodium methylate secara langsung, proses ini masih memiliki keterbatasan dari sisi biaya investasi, konsumsi energi, perawatan membran, serta risiko keselamatan akibat terbentuknya gas H_2 dan Cl_2 .

4. Proses *Reactive Distillation* dengan Membran Pervaporasi

Reactive Distillation merupakan proses terintegrasi antara reaksi kimia dan pemisahan dalam satu unit operasi. Pada produksi sodium methylate ($NaOCH_3$), teknologi ini digunakan untuk menggabungkan pembentukan sodium methylate dengan pemisahan air hasil reaksi secara simultan sehingga dapat meningkatkan konversi reaksi dan efisiensi proses. Langkah-langkah dalam aplikasi *reactive distillation* dengan membran pervaporasi di proses ini:

1. Proses Reaksi

Pada proses *Reactive Distillation*, pembentukan sodium methylate berlangsung melalui mekanisme netralisasi antara natrium hidroksida ($NaOH$) dan metanol (CH_3OH) yang terjadi bersamaan dengan pemisahan produk dalam satu unit operasi. $NaOH$ terdisosiasi menjadi ion Na^+ dan OH^- , sedangkan metanol menghasilkan ion metoksida (CH_3O^-) dan proton (H^+). Ion OH^- kemudian bereaksi dengan H^+ membentuk air (H_2O), sementara ion Na^+ berikatan dengan ion metoksida membentuk sodium methylate (CH_3ONa). Untuk mencegah terjadinya reaksi balik sesuai prinsip Le Chatelier, air yang terbentuk segera dihilangkan melalui bagian *stripping* dengan enam tahap pemisahan, sehingga campuran air–metanol dapat menguap sebagai distilat, sedangkan sodium methylate tetap berada sebagai *bottom product* karena memiliki titik didih lebih tinggi. Selanjutnya, pada bagian *enriching*, distilat air–metanol dioperasikan pada kondisi sedikit vakum untuk mencegah kondensasi berlebih sebelum dikondensasikan sebagian dan dialirkan menuju unit membran pervaporasi.

2. Pemisahan Menggunakan Membran Pervaporasi

Campuran metanol–air dari distilat kemudian dialirkan ke membran pervaporasi untuk memisahkan air dari metanol sehingga metanol dapat digunakan kembali pada proses di *mixing tank*. Pada proses ini, air bergerak sebagai *permeat* karena dapat melewati membran, sedangkan metanol tertahan sebagai *retentat*.

Pemisahan dilakukan dengan bantuan pompa vakum untuk menciptakan perbedaan tekanan sehingga meningkatkan efisiensi pemisahan. Metanol hasil pemisahan kemudian ditampung sebelum direcycle kembali ke proses, sedangkan air dipisahkan sebagai aliran *permeat*. Integrasi membran pervaporasi ini memungkinkan pengurangan kehilangan metanol, meningkatkan efisiensi bahan baku, dan menurunkan kebutuhan energi dibandingkan metode pemisahan konvensional.

3. Keuntungan Membran Pervaporasi

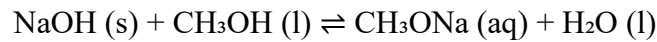
- **Pemurnian Produk:** Teknologi pervaporasi ini memungkinkan pemisahan metanol dengan efisiensi tinggi, yang sangat penting dalam memastikan kualitas produk sodium methylete yang lebih tinggi.
- **Penghematan Energi:** Dengan menggunakan membran pervaporasi, proses pemisahan bisa lebih hemat energi dibandingkan dengan distilasi tradisional, yang memerlukan pemanasan berlebih.
- **Pengurangan Penggunaan Energi untuk Pemisahan Metanol:** Proses pervaporasi memberikan keuntungan dalam memisahkan campuran metanol dan air dengan konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan distilasi konvensional. Melalui membran hidrofilik, air dapat dipisahkan secara selektif sebagai *permeat* sementara metanol dipertahankan sebagai *retentat*, sehingga kebutuhan energi untuk pemurnian dan recycle metanol menjadi lebih efisien.

4. Integrasi dengan Proses Produksi

Membran pervaporasi bisa diintegrasikan dengan proses produksi sodium methylete (NaOCH_3) untuk mengoptimalkan pemisahan metanol secara langsung setelah reaksi berlangsung, menghindari kebutuhan distilasi yang memakan banyak energi. Dengan mengoperasikan membran pervaporasi, metanol dapat dipisahkan dan dikembalikan ke dalam siklus reaksi tanpa perlu melalui proses distilasi rumit. Membran ini memungkinkan pemisahan metanol dari campuran

methanol-air, meningkatkan efisiensi dan mengurangi konsumsi energi secara signifikan.

Proses utama dalam pembuatan sodium methyrate menggunakan natrium hidroksida dan metanol adalah sebagai berikut:



Keterangan :

- NaOH = Natrium hidroksida
- CH₃OH = Metanol
- NaOCH₃ = Sodium methyrate
- H₂O = Air (produk sampingan)

Pada proses ini, metanol berlebih digunakan untuk memfasilitasi reaksi pembentukan sodium methyrate. Setelah reaksi selesai, produk yang dihasilkan berupa campuran sodium methyrate dan metanol. Pervaporasi merupakan proses pemisahan campuran metanol dan air berdasarkan perbedaan afinitas komponen terhadap membran serta perbedaan volatilitasnya. Pada proses ini, campuran metanol-air mengalami perubahan fase dari cair menjadi uap di permukaan membran, kemudian air dipisahkan secara selektif melalui membran hidrofilik sebagai *permeat*, sedangkan metanol tertahan sebagai *retentat* untuk direcycle kembali ke proses produksi sodium methyrate.

1.4.2 Pemilihan Proses

Tabel 1.12. Pertimbangan Proses Pembuatan Sodium Methyrate

No.	Karakteristik	Metanol + NaOH	Proses Downs Cell	Elektrolisa Metanol + NaCl	<i>Reactive Distillation + Membran Pervaporasi</i>
1.	Yield	20 – 30%	Hingga 30%	20 – 30%	20 – 30%
2.	Bahan baku	Metanol, NaOH	NaCl cair	Metanol, NaCl	Metanol, NaOH
3.	Keterlibatan air	Ada	Tidak ada	Tidak ada	Minimum (terkendali)
4.	Suhu operasi	80-130°C	±590°C	±80-100°C	60-90°C
5.	Keselamatan operasi	Cukup aman	Berisiko tinggi (Na cair)	Cukup aman	Cukup aman

No.	Karakteristik	Metanol + NaOH	Proses Downs Cell	Elektrolisa Metanol + NaCl	<i>Reactive Distillation</i> + Membran Pervaporasi
6.	Kebutuhan proses tambahan	Tidak ada	Ya (pembuatan Na)	Tidak ada	Tidak ada
7.	Dampak lingkungan	Limbah relatif aman	Risiko tinggi	Limbah gas	Limbah relatif aman

Berdasarkan Tabel 1.12, proses sintesis sodium methylate yang paling efisien adalah proses *Reactive Distillation* terintegrasi membrane pervaporasi. Proses ini memiliki beberapa keunggulan seperti *yield* sebesar 20–30%, proses reaksi dan pemisahan simultan (sehingga menjaga kemurnian produk), serta bahan baku yang mudah didapatkan dan murah. Walaupun biaya investasi awal cukup tinggi dan membutuhkan pengendalian proses serta keamanan ketat, proses ini dianggap lebih stabil dan aman dibandingkan proses lainnya. Selain itu, pemilihan proses ini juga mempertimbangkan ketersediaan bahan baku lokal di Indonesia, terutama natrium hidroksida industri (NaOH), yang lebih mudah diperoleh dibandingkan logam sodium murni yang dibutuhkan dalam proses Downscell.