

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Natrium metanolat (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. Natrium metanolat dapat diproduksi melalui reaksi antara natrium dan metanol. Penggunaan natrium metanolat semakin meluas, terutama di sektor energi terbarukan, khususnya dalam proses transesterifikasi untuk produksi biodiesel. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi alternatif, permintaan akan natrium metanolat sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel juga diperkirakan akan terus berkembang (Chin, 2020).

Proses pembuatan natrium metanolat umumnya menggunakan metanol sebagai bahan baku dan natrium logam sebagai reaktan. Reaksi tersebut menghasilkan natrium metanolat dan gas hidrogen, yang dapat diolah lebih lanjut. Salah satu tantangan utama dalam produksi natrium metanolat adalah pemisahan produk dari campuran reaksi yang mengandung air, metanol, dan natrium metanolat. Untuk itu, teknologi pemisahan yang efisien sangat diperlukan dalam proses pabrikasi ini (Chen et al., 2019).

Pemilihan teknologi pemisahan yang tepat akan menentukan efisiensi dan keberlanjutan proses produksi natrium metanolat. Salah satu teknologi pemisahan yang sedang berkembang adalah pervaporasi menggunakan membran. 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 (Zhao et al., 2021). Dengan menggunakan membran, proses pemisahan dapat dilakukan dengan energi yang lebih efisien dibandingkan dengan metode konvensional seperti distilasi.

Dengan mempertimbangkan perkembangan teknologi pervaporasi dan kebutuhan akan natrium metanolat yang terus meningkat, perancangan pabrik natrium metanolat dengan kapasitas 150.000 ton/tahun menjadi sangat relevan. Pabrik ini akan menggunakan teknologi pervaporasi membran sebagai metode pemisahan, yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya energi dalam proses produksi. Selain itu, pemilihan kapasitas pabrik yang besar ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik dan internasional yang terus berkembang, seiring dengan meningkatnya permintaan biodiesel dan produk turunannya (Kumar et al., 2020).

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:

- a. Prediksi kebutuhan natrium metanolat di Indonesia
- b. Ketersediaan bahan baku
- c. Proses yang digunakan

1.2.1 Prediksi Kebutuhan natrium metanolat di Indonesia

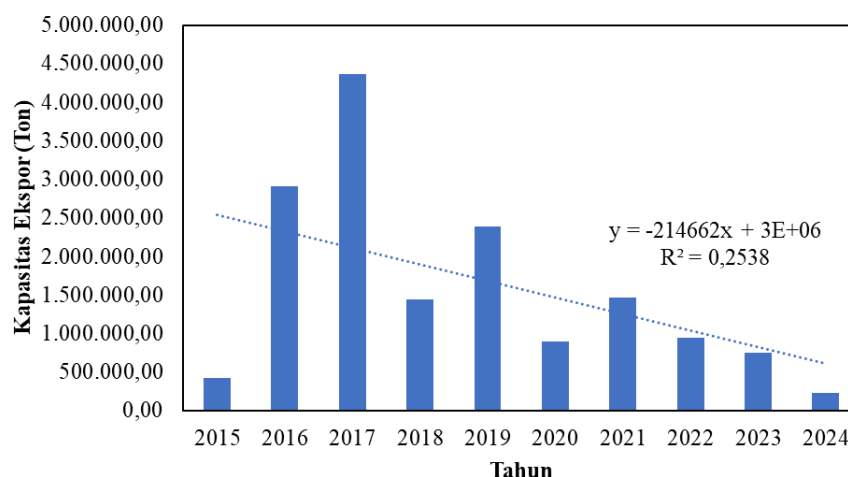
Permintaan akan natrium metanolat di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat namun, selama ini hanya terpenuhi sebagian dikarenakan pabrik yang didirikan di Indonesia belum ada sehingga untuk suplai produk natrium metanolat diperoleh dari hasil impor. Dilihat dari data impor 10 tahun terakhir, penggunaan natrium metanolat menunjukkan peningkatan.

Tabel 1.1. Data Impor Natrium Metanolat di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2025)

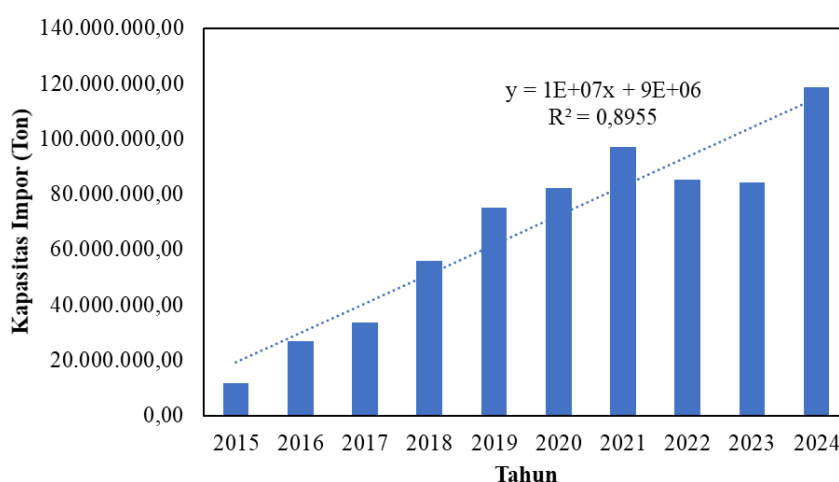
Tahun	Kapasitas (Ton)
2015	11.679.357
2016	26.777.820
2017	33.797.498
2018	56.051.245
2019	75.160.261
2020	82.375.024
2021	96.934.984
2022	85.253.664
2023	84.422.704
2024	118.698.817

Hal ini merupakan peluang pasar yang baik bagi perkembangan industri natrium metanolat yang dilihat dari orientasi pasar dalam negeri maupun luar negeri.

Kebutuhan natrium metanolat diperkirakan akan terus bertambah dalam beberapa tahun mendatang, hal ini berkaitan dengan perkembangan dari industri biodiesel yang terus berlangsung, sehingga penggunaan natrium metanolat sebagai katalis dalam industri tersebut dan beberapa industri lainnya akan terus mengalami peningkatan. Dilihat dari Gambar 1.1. data impor natrium metanolat dan Gambar 1.2. data ekspor natrium metanolat pada Tabel 1.2.



Gambar 1.1. Data Ekspor Natrium Metanolat di Indonesia



Gambar 1.2. Data Impor Natrium Metanolat di Indonesia

Metode yang akan digunakan untuk memprediksi data pembangunan pabrik natrium metanolat di tahun 2029 adalah menggunakan metode pertumbuhan rata-rata pertahun.

Tabel 1.2. Data Import Ekspor Natrium Metanolat di Indonesia dan Pertumbuhannya

Tahun	Jumlah		% Prediksi	
	Ekspor (Ton)	Impor (Ton)	Ekspor	Impor = Konsumsi
2015	416.597,9	11.679.357	0	0

2016	2.913.668,42	26.777.820	599,3958491	129,2747794
2017	4.363.234,29	33.797.498	49,75054334	26,21452381
2018	1.437.918,66	56.051.245	-67,0446608	65,84436221
2019	2.384.197,73	75.160.261	65,80894291	34,09204559
2020	890.287,44	82.375.024	-62,6588253	9,599172361
2021	1.468.747,52	96.934.984	64,97453002	17,67521185
2022	943.153,49	85.253.664	35,7851859	-12,05067512
2023	745.376,63	84.422.704	20,9697427	-0,974691246
2024	223.336	118.698.817	70,0371609	40,60058654
Total (%Prediksi)			523,4342898	310,2753154
i (Rata-rata)			58,15936553	34,47503505

Natrium metanolat, 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 (Sahubawa & Probo Ningtyas, 2011). Pada tahun 2023, Indonesia memproduksi sekitar 12,7 juta kiloliter (kL) biodiesel, meskipun target yang ditetapkan adalah 13 juta kL. Produksi biodiesel terbesar berasal dari Provinsi Riau dengan volume total 5,1 juta kL. Provinsi lainnya seperti Jawa Timur, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, dan Sumatra Utara juga berkontribusi signifikan dalam produksi biodiesel nasional (Haswar & Khairina, 2021). Berikut adalah tabel yang menunjukkan beberapa industri biodiesel yang telah berdiri di Indonesia beserta kapasitas produksinya per tahun.

Tabel 1.3. Pabrik Biodiesel yang Telah Berdiri di Indonesia (Aziz, 2023).

Industri	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT Jhonlin Agro Raya	568.966
PT Wilmar Bioenergi Indonesia	1.603.448
PT Musim Mas	459.770
PT Sinar Mas Bio Energy	455.400
PT Kutai Refinery Nusantara	1.143.247
PT Sari Dumai Oleo	413.793
PT Sari Dumai Sejati	689.655

Sampai saat ini di Indonesia belum memiliki pabrik yang memproduksi natrium metanolat., sehingga sebagai pertimbangan dan perbandingan, digunakan kapasitas pabrik natrium

metanolat di dunia yang sudah berdiri. Dapat dilihat pabrik natrium metanolat yang ada di dunia adalah sebagai berikut.

Tabel 1.4. Kapasitas pabrik natrium metanolat 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
Henan Xinyang Methanol Sodium Co., Ltd.	China	15.000 ton	https://www.chemball.com/factory/iqv6n/

1.2.2 Perhitungan Kapasitas Produksi

Direncanakan pabrik akan berdiri pada tahun 2029. Pada produksi ini, data yang digunakan adalah data impor dan ekspor dari tahun 2015-2029, sehingga perkiraan penggunaan natrium metanolat pada tahun 2029 dapat dihitung dengan *discounted method* sebagai berikut:

$$M = P \times (1 + i)^n$$

Dimana :

M = Jumlah produk pada akhir tahun perhitungan

P = Data besarnya impor dan ekspor pada tahun 2024

M₁ = Nilai impor pada tahun 2029

M₂ = Nilai produksi pabrik lama pada tahun 2029

M₃ = Nilai produksi pabrik baru pada tahun 2029

M₄ = Nilai ekspor pada tahun 2029

- i = Rata-rata kenaikan impor setiap tahun
n = Selisih tahun 2024 dan tahun 2029 (5 tahun)

Neraca Massa Peluang Kapasitas

$$M_1 + M_2 + M_3 = M_4 + M_5$$

$$M_3 = (M_4 + M_5) - (M_1 + M_2)$$

Dimana:

M_1 = Nilai produksi

M_2 = Nilai perkiraan impor

M_3 = Nilai peluang kapasitas

M_4 = Nilai konsumsi

M_5 = Nilai perkiraan ekspor

- a. Perkiraan Nilai Ekspor (M_5) pada tahun 2029

$$M = 0 \times (1 + 0,5815936553)^5$$

$$M = 0$$

- b. Perkiraan Nilai Impor (M_2) pada tahun 2029

$$M = 156594309,5 \times (1 + 0,3447503505)^5 \times 30\%$$

$$M = 156594,3095 \text{ ton}$$

- c. Menghitung Peluang Kapasitas Berdasarkan Prediksi Data Ekspor dan Impor pada Tahun 2029 (M_3)

$$M_1 = 0 \text{ (tidak ada pabrik)}$$

$$M_1 + M_2 + M_3 = M_4 + M_5$$

$$M_3 = (M_4 + M_5) - (M_1 + M_2)$$

$$M_3 = (0 + 156594,3095) - (58517,5 + 0)$$

$$M_3 = 98.076,81 \text{ ton}$$

- d. Menghitung Nilai Konsumsi (M_4)

$$\text{Data konsumsi biodiesel tahun 2024} = 13.150.000 \text{ kiloliter}$$

$$\text{konsumsi biodiesel} = 11.703.500,00 \text{ ton}$$

$$\text{konsumsi teoritis } \text{CH}_3\text{ONa} = 3.901.166,67 \text{ ton}$$

- e. Menghitung Kapasitas Produksi pada Tahun 2029

$$\text{Kapasitas Produksi} = 1,5 \times \text{Peluang Kapasitas}$$

$$= 1,5 \times 147115,2142 \text{ Ton/tahun}$$

$$= 147115,2142 \text{ Ton/tahun} \approx \mathbf{150.000 \text{ Ton/tahun}}$$

Berdasarkan data perhitungan, prediksi impor pada tahun 2029 adalah 156.594,3095 Ton/tahun, untuk prediksi ekspor karena tidak ada data ekspor maka tidak ada prediksi ekspor yang dimasukan dan untuk prediksi kebutuhan adalah 98.076,81 Ton/tahun. Berdasarkan hasil perhitungan peluang kapasitas, maka ditetapkan kapasitas produksi natrium metanolat pada tahun 2029 adalah 1,5 kali dari peluang kapasitas yang didapatkan yaitu sebesar 150.000 Ton/tahun.

Tabel 1.5. Analisis Proyeksi Kebutuhan Metode Tren Historis Data Impor 5 Tahun Terakhir

Tahun	Impor	Prediksi (%)
2015	11.679.357,00	0
2016	26.777.820,00	129,2747794
2017	33.797.498,00	26,21452381
2018	56.051.245,00	65,84436221
2019	75.160.261,00	34,09204559
2020	82.375.024,00	9,599172361
2021	96.934.984,00	17,67521185
2022	85.253.664,00	-12,05067512
2023	84.422.704,00	-0,974691246
2024	118.698.817,00	40,60058654
Rata-rata		34,47503505

Tabel 1.6. Proyeksi Kebutuhan Natrium Metanolat di Indonesia (2029-2042)

Tahun	Kebutuhan	Produksi (Ton/tahun)	Kontribusi Pemenuhan Kebutuhan (%)
2029	201712,6	150.000,0	74,363
2030	271253,0	150.000,0	55,299
2031	364.767,6	150.000,0	41,122
2032	490.521,4	150.000,0	30,580
2033	659.628,8	150.000,0	22,740
2034	887.036,0	150.000,0	16,910
2035	1.192.842,0	150.000,0	12,575
2036	1.604.074,7	150.000,0	9,351
2037	2.157.080,0	150.000,0	6,954

2038	2.900.734,1	150.000,0	5,171
2039	3.900.763,2	150.000,0	3,845
2040	5.245.552,7	150.000,0	2,860
2041	7.053.958,8	150.000,0	2,126
2042	9.485.813,6	150.000,0	1,581

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

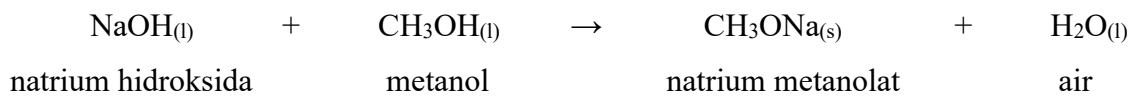
Bahan baku utama yang digunakan dalam produksi natrium metanolat adalah metanol dan natrium hidroksida (NaOH). Metanol akan diperoleh dari PT. Kaltim Methanol Industri yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur, dengan kapasitas produksi sebesar 660.000 ton/tahun. PT Kaltim Methanol Industri merupakan salah satu produsen metanol terbesar di Indonesia, yang menggunakan gas alam sebagai bahan baku utama dalam proses produksinya (Kaltim Methanol, 2025). Untuk pengiriman metanol dari PT Kaltim Methanol Industri ke pabrik natrium metanolat yang direncanakan dibangun di Desa Santan Ilir, Kecamatan Marang Kayu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, akan melalui jalur distribusi darat yang menggunakan kendaraan pengangkut besar seperti truk tangki dengan kapasitas antara 20.000 hingga 30.000 liter. Truk-truk ini akan mengangkut bahan baku metanol dari pabrik ke lokasi pabrik, dengan mempertimbangkan aksesibilitas jalan dan jarak tempuh yang relatif dekat antara kedua lokasi tersebut (Buana Lalu Lintas, 2025).

Untuk natrium hidroksida (NaOH), bahan baku utama kedua dalam produksi natrium metanolat, akan diperoleh dari pabrik penghasil NaOH terdekat, yaitu PT Asahimas Chemical yang berlokasi di Cilegon, Banten. PT Asahimas Chemical memproduksi NaOH dalam kapasitas besar, mencapai 700.000 ton/tahun, dengan teknologi elektrolisis membran yang ramah lingkungan dan efisien (PT Asahimas Chemical, 2025). NaOH akan dikirim ke pabrik melalui jalur distribusi laut dari Pelabuhan Ciwandan, dengan pertimbangan aksesibilitas pelabuhan-pelabuhan di Kalimantan Timur, termasuk Pelabuhan bontang yang dapat menjadi titik distribusi utama. Untuk distribusi laut, pengiriman NaOH menggunakan kapal tanker dengan kapasitas antara 6.000 hingga 10.000 m³ (Buana Lalu Lintas, 2025). Setelah tiba di Pelabuhan bontang, NaOH akan diteruskan ke pabrik yang direncanakan dibangun di Desa Santan Ilir, Kecamatan Marang Kayu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, menggunakan jalur distribusi darat. Pengiriman melalui jalur darat akan dilakukan dengan truk pengangkut besar seperti truk tangki dengan kapasitas antara 20.000 hingga 30.000 liter, mengingat jarak tempuh yang relatif tidak terlalu jauh dan adanya akses jalan yang baik antara

pelabuhan dan lokasi pabrik. Dengan adanya jalur transportasi yang baik, pengiriman NaOH dari PT Asahimas Chemical ke pabrik di Kalimantan Timur dapat dilakukan dengan efektif (Buana Lalu Lintas, 2025).

Pabrik natrium metanolat ini direncanakan akan dibangun di Desa Santan Ilir, Kecamatan Marang Kayu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, yang memiliki lokasi strategis dengan akses mudah menuju Selat Makassar dan jaringan transportasi darat serta laut yang baik (Buana Lalu Lintas, 2025). Pemilihan lokasi ini bertujuan untuk mempermudah distribusi bahan baku serta mempercepat distribusi produk akhir ke berbagai wilayah, baik pasar domestik maupun ekspor. Dengan lokasi yang dekat dengan pelabuhan dan infrastruktur transportasi yang tersedia, pabrik ini diharapkan dapat mengoptimalkan proses produksi dan pengiriman.

Dalam proses produksi natrium metanolat dengan kapasitas 150.000 ton/tahun, kebutuhan bahan baku dihitung berdasarkan reaksi stoikiometri utama antara metanol dan natrium hidroksida. Dengan peningkatan kapasitas produksi, kebutuhan metanol dan NaOH juga akan meningkat secara sebanding. Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan bahan baku dilakukan sebagai berikut:



Rencana kapasitas pabrik pada 2029 yakni sebesar 150.000 ton/tahun, maka kebutuhan bahan baku dapat diperoleh berdasarkan target produk yang ingin dicapai. Sebagai referensi, perusahaan BASF dijadikan sebagai standar kualitas produk yang diinginkan

Tabel 1.7 Kualitas produk natrium metanolat diproduksi oleh BASF

Komposisi	% berat (min)	% berat (maks)
CH ₃ OH	≥ 50	75
CH ₃ ONa	≥ 25	50
NaOH	≥ 0	1

Kapasitas pabrik = 150.000 ton/tahun

Laju massa per jam = (kapasitas/330 hari operasi/24 jam) × 1000 kg
= 18939,394 kg/jam

Sehingga kebutuhan methanol dan NaOH dapat dihitung dengan metode berikut,

Mol CH₃ONa = 105,160 kmol/jam

Mol NaOH = mol CH₃ONa + mol NaOH sisa

$$\begin{aligned}
&= 106,902 \text{ kmol/jam} \\
&= 846.664,297 \text{ kmol/tahun} \\
\text{Massa NaOH} &= \text{mol NaOH} \times \text{BM NaOH} \\
&= 33.866.571,90 \text{ kg/tahun} \\
&= \mathbf{33.866,572 \text{ ton/tahun}} \\
\text{Mol CH}_3\text{OH} &= 516,768 \text{ kmol/jam} \\
\text{Kebutuhan total} &= \text{mol CH}_3\text{OH untuk reaksi} + \text{mol CH}_3\text{OH untuk pelarut} + \text{mol CH}_3\text{OH} \\
&\quad \text{untuk penguapan H}_2\text{O} \\
&= 650,868 \text{ kmol/jam} \\
\text{Massa CH}_3\text{OH} &= 20.853,826 \text{ kg/jam} \\
&\approx 21.000,00 \text{ kg/jam (dibuat excess untuk penguapan H}_2\text{O)} \\
&= 166.320.000,00 \text{ kg/tahun} \\
&= 166.320,00 \text{ ton/tahun} \\
&= \mathbf{131.133,00 \text{ ton/tahun}} \text{ (jika menggunakan recycle proses)}
\end{aligned}$$

1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan langkah strategis yang sangat penting dalam perencanaan industri natrium metanolat. Beberapa faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pabrik meliputi ketersediaan bahan baku, infrastruktur dan transportasi, tenaga kerja, karakteristik lokasi, kebijakan pemerintah, serta kemungkinan perluasan pabrik di masa depan. Selain itu, jenis industri natrium metanolat juga perlu dikategorikan berdasarkan konsep weight loss atau weight gain, yang menentukan apakah pabrik harus lebih dekat ke sumber bahan baku atau ke pasar konsumen utama.

- *Weight Loss*

Pabrik weight loss adalah pabrik di mana bobot produk akhir lebih ringan dibandingkan bahan bakunya. Dalam hal ini, lokasi pabrik sebaiknya berdekatan dengan sumber bahan baku utama untuk mengurangi biaya transportasi bahan mentah yang umumnya lebih besar dibandingkan produk jadi.

- *Weight Gain*

Pabrik weight gain adalah pabrik di mana bobot produk akhir lebih berat dibandingkan bahan bakunya. Oleh karena itu, lokasi pabrik cenderung lebih menguntungkan jika berada dekat dengan pasar atau pusat distribusi untuk menekan biaya transportasi produk jadi. Berdasarkan sifat produksinya, pabrik natrium metanolat lebih cocok dikategorikan sebagai weight loss, karena bahan baku utama, yaitu metanol dan natrium hidroksida industri (NaOH),

memiliki bobot yang lebih besar dibandingkan produk akhirnya. Oleh karena itu, lokasi yang paling ideal adalah yang dekat dengan sumber bahan baku utama, terutama metanol yang memiliki persentase kebutuhan terbesar dalam proses produksi.

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 natrium metanolat akan didirikan di Desa Santan Ilir, Kecamatan Marang Kayu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Berdasarkan survei wilayah, tersedia lahan kosong yang strategis untuk pendirian pabrik, seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3. Lokasi Pendirian Pabrik Natrium metanolat

1.3.1 Bahan Baku

Bahan baku utama dalam produksi natrium metanolat adalah metanol dan natrium hidroksida (NaOH). 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 (Buana Lalu Lintas, 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.

1.3.2 Sarana dan Transportasi

Lokasi pabrik di Desa Santan Ilir memiliki akses transportasi yang memadai, baik darat, laut, maupun udara. Akses jalan raya memungkinkan kendaraan besar untuk mengangkut bahan baku dan produk. Selain itu, kedekatan dengan pelabuhan di Bontang mempermudah transportasi laut.

1.3.3 Tenaga Kerja

Desa Santan Ilir dan sekitarnya memiliki potensi tenaga kerja yang memadai. Kabupaten Kutai Kartanegara memiliki populasi besar dengan jumlah tenaga kerja usia produktif yang cukup tinggi. Hal ini memudahkan perusahaan dalam merekrut tenaga kerja lokal untuk operasional pabrik.

1.3.4 Karakteristik Lokasi

Karakteristik geografis Desa Santan Ilir cukup mendukung untuk pendirian pabrik, dengan iklim tropis yang stabil dan risiko bencana alam yang rendah. Wilayah ini memiliki infrastruktur dasar yang memadai serta ketersediaan sumber daya air untuk kebutuhan industri.

1.3.5 Kebijakan Pemerintah

Pemerintah Kabupaten Kutai Kartanegara mendukung pengembangan industri kimia di wilayahnya, termasuk pemberian insentif investasi dan kemudahan perizinan. Hal ini menjadi faktor penting dalam pemilihan lokasi pabrik.

1.3.6 Perluasan Pabrik

Lahan di sekitar lokasi pabrik di Desa Santan Ilir masih cukup luas dan memungkinkan untuk pengembangan di masa depan. Dengan meningkatnya permintaan biodiesel di Indonesia, kebutuhan akan natrium metanolat sebagai katalis juga diprediksi meningkat, sehingga potensi perluasan pabrik menjadi pertimbangan strategis.

Berdasarkan analisis faktor-faktor tersebut, alternatif lokasi yang dipertimbangkan meliputi:

1. Desa Santan Ilir, Kalimantan Timur
2. Pangkalan Kerinci, Riau
3. Cikarang, Jawa Barat

Tabel 1.8. Perbandingan Pemilihan Lokasi Pabrik

Parameter	Lokasi		
	Desa Santan Ilir, Kalimantan Timur	Pangkalan Kerinci, Riau	Cikarang, Jawa Barat
Tenaga Kerja	Potensi sumber daya manusia cukup baik, terutama tenaga kerja terampil dalam industri kimia dan migas.	Potensi sumber daya manusia baik dengan tenaga kerja tersedia dari sektor perkebunan dan industri.	Potensi sumber daya manusia sangat baik karena dekat dengan kawasan industri besar.

Fasilitas Transportasi	Dekat dengan Pelabuhan Kariangau dan memiliki akses jalur laut untuk distribusi bahan baku dan produk. Jalur darat cukup baik tetapi jarak ke pusat ekonomi nasional cukup jauh.	Jalur transportasi udara kurang memadai, namun tersedia jalur darat dan sungai yang terhubung dengan Pelabuhan Dumai.	Fasilitas jalur darat sangat baik, akses mudah ke Jakarta-Cikampek, tetapi sering mengalami kemacetan dan kepadatan.
Letak Pasar	Prospek pemasaran cukup baik untuk kebutuhan industri dalam negeri dan ekspor ke Asia Pasifik melalui pelabuhan.	Prospek pemasaran cukup baik karena dekat dengan pusat industri minyak kelapa sawit sebagai pengguna utama natrium metanolat.	Prospek pemasaran sangat baik karena dekat dengan berbagai kawasan industri kimia, otomotif, dan manufaktur.
Utilitas	Ketersediaan listrik dan air industri cukup memadai karena dekat dengan kawasan industri Bontang dan fasilitas gas alam.	Ketersediaan listrik dan air industri cukup baik, tetapi pasokan terkadang terganggu akibat kondisi infrastruktur di daerah terpencil.	Ketersediaan listrik dan air sangat baik karena sudah terdapat banyak industri besar yang beroperasi.
Perluasan Pabrik	Masih tersedia lahan luas untuk ekspansi di masa depan.	Masih bisa dilakukan ekspansi, namun lahan lebih terbatas dibandingkan Desa Santan Ilir.	Lahan untuk ekspansi cukup terbatas dan harga tanah relatif lebih mahal dibandingkan lokasi lainnya.

Peraturan Pemerintah	Kawasan industri	Regulasi sudah diatur dalam peraturan daerah dan mendukung investasi industri.	Regulasi sudah diatur dalam peraturan daerah dan mendukung investasi, tetapi persyaratan lingkungan lebih ketat.
	Desa Santan Ilir didukung oleh kebijakan pemerintah daerah yang mendorong investasi industri berbasis migas dan kimia.		

Setelah meninjau hasil komparasi berdasarkan berbagai faktor pada Tabel 1.4, maka lokasi yang dipilih untuk pembangunan pabrik natrium metanolat adalah di Desa Santan Ilir, Kalimantan Timur. Keputusan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan utama yang mencakup ketersediaan bahan baku, infrastruktur pendukung, tenaga kerja, serta prospek pasar dan ekspansi ke depan.

1. Bahan Baku, Bahan baku utama dalam produksi natrium metanolat terdiri dari metanol dan natrium hidroksida (NaOH). Metanol akan diperoleh dari PT. Kaltim Methanol Industri yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur. Dengan kedekatan lokasi antara pabrik dan sumber metanol, biaya transportasi bahan baku dapat diminimalkan secara signifikan. Metanol akan dikirimkan menggunakan truk tanker berkapasitas besar guna memastikan kelangsungan pasokan bahan baku tanpa kendala logistik. Sementara itu, natrium hidroksida akan didapatkan dari PT Asahimas Chemical yang memiliki kapasitas produksi tinggi dan kualitas natrium hidroksida yang sesuai untuk kebutuhan industri. Natrium hidroksida akan diangkut melalui jalur darat dan laut untuk memastikan ketersediaan bahan baku yang stabil. Lokasi pabrik di Desa Santan Ilir yang dekat dengan infrastruktur pelabuhan dan jalur distribusi utama memberikan keuntungan dalam transportasi bahan baku dan distribusi produk.
2. Ketersediaan Utilitas, Kebutuhan utilitas pabrik meliputi air industri, LNG, dan listrik. Sumber air dapat diperoleh dari Sungai Mahakam yang berada dalam jangkauan wilayah Desa Santan Ilir. Sungai ini memiliki kapasitas air yang cukup besar dan dapat diolah sesuai dengan standar kebutuhan industri. Selain itu, listrik untuk operasional pabrik dapat diperoleh dari jaringan listrik yang dikelola oleh PLN, dengan tambahan opsi penggunaan panel surya sebagai sumber energi terbarukan guna meningkatkan efisiensi energi dan keberlanjutan operasional pabrik. Pasokan LNG untuk kebutuhan proses produksi juga

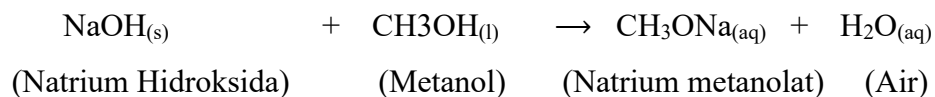
dapat diperoleh dengan mudah dari industri gas alam yang beroperasi di sekitar Kalimantan Timur. Kedekatan dengan sumber daya ini memberikan keunggulan dalam hal efisiensi biaya dan kontinuitas pasokan energi bagi pabrik.

3. Tenaga Kerja, Lokasi pabrik di Desa Santan Ilir memberikan akses yang mudah terhadap tenaga kerja lokal. Dengan populasi yang cukup besar di sekitar wilayah tersebut serta adanya tenaga kerja yang berasal dari kota-kota industri terdekat seperti Bontang dan Samarinda, kebutuhan tenaga kerja dapat terpenuhi dengan baik. Pemerintah daerah juga mendukung investasi industri dengan program pelatihan tenaga kerja guna memastikan ketersediaan tenaga kerja yang memiliki keterampilan sesuai dengan kebutuhan pabrik. Selain itu, keberadaan pabrik natrium metanolat di Desa Santan Ilir diharapkan dapat memberikan dampak positif bagi perekonomian daerah dengan membuka lapangan kerja baru dan mengurangi tingkat pengangguran.
4. Aksesibilitas dan Transportasi, Salah satu keunggulan lokasi di Desa Santan Ilir adalah ketersediaan infrastruktur transportasi yang baik. Jalur darat yang menghubungkan wilayah ini dengan Bontang, Samarinda, dan Balikpapan memungkinkan distribusi produk ke berbagai wilayah dengan lebih efisien. Selain itu, pelabuhan yang tersedia di Kalimantan Timur mempermudah pengiriman bahan baku serta ekspor produk ke berbagai tujuan, termasuk pasar internasional. Lokasi yang strategis ini memberikan keuntungan bagi pabrik dalam menjangkau pasar nasional dan internasional dengan lebih kompetitif. Dengan akses yang baik ke pelabuhan dan jalur transportasi utama, proses distribusi produk dapat berjalan dengan lancar tanpa hambatan logistik yang berarti.
5. Kebijakan Pemerintah dan Potensi Ekspansi, Pembangunan pabrik di Desa Santan Ilir didukung oleh kebijakan pemerintah yang mendorong pertumbuhan industri di Kalimantan Timur. Regulasi dan insentif investasi yang diberikan oleh pemerintah daerah membantu mempermudah proses perizinan dan mendukung keberlanjutan operasional pabrik dalam jangka panjang. Selain itu, wilayah Desa Santan Ilir masih memiliki lahan yang luas untuk ekspansi di masa depan. Dengan meningkatnya permintaan natrium metanolat sebagai katalis dalam produksi biodiesel, kemungkinan ekspansi pabrik sangat terbuka untuk memenuhi pertumbuhan pasar yang terus meningkat.

Berdasarkan faktor-faktor di atas, Desa Santan Ilir, Kalimantan Timur dipilih sebagai lokasi yang paling strategis untuk pendirian pabrik natrium metanolat dengan mempertimbangkan efisiensi biaya, ketersediaan bahan baku, dukungan infrastruktur, serta prospek pengembangan industri di masa mendatang.

1.4 Tinjauan Proses

Pembuatan natrium metanolat 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 natrium metanolat 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 natrium metanolat.
- Air (H₂O), terbentuk sebagai produk sampingan dari ikatan OH⁻ yang lepas dari NaOH.

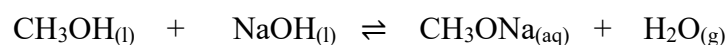
1.4.1 Macam-macam Proses Pembuatan Natrium Metanolat

Terdapat beberapa proses pembuatan natrium metanolat yang telah dikembangkan sebagai berikut:

1. Proses Metanol dan NaOH

Pada proses ini, metanol dalam fasa gas akan dikontakkan dengan larutan NaOH secara *countercurrent* pada *bubble column reactor*. CH₃ONa sebesar 20%-30% diperoleh sebagai produk bawah, sedangkan pada produk atas didapatkan metanol dan 10%-15% air.

Adapun reaksi yang terjadi sebagai berikut:

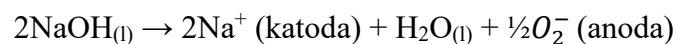


Mengingat reaksi ini bersifat reversibel, sedikit saja kandungan air pada produk dapat mengurangi yield CH₃ONa. Selain mengurangi yield CH₃ONa, kandungan air juga memicu terjadinya reaksi penyabunan sehingga mengurangi efisiensi proses pembuatan biodiesel. Akan tetapi, kandungan air di dalam reaktor pada proses ini tidak dapat dihindari. Air akan masuk ke dalam reaktor sebagai pelarut NaOH dan juga diproduksi sebagai produk samping dari reaksi pembentukan natrium metanolat. Pada proses ini, natrium metanolat yang dihasilkan memiliki kandungan air 3%-5% yang akan mengurangi harga jualnya. Oleh karena itu, dibutuhkan proses pemurnian lanjutan untuk dapat memenuhi standar kadar air yaitu 0,2%.

2. Proses Castner

Proses Castner merupakan salah satu metode elektrolisis yang digunakan untuk memproduksi natrium dengan menggunakan natrium hidroksida (NaOH) sebagai bahan baku utama. Metode ini dilakukan dengan cara melelehkan natrium hidroksida NaOH kemudian mengalirkan arus listrik melalui sel elektrolisis untuk memisahkan ion-ion yang terkandung di dalamnya.

Proses ini beroperasi pada suhu sekitar 330°C, yang sedikit di atas titik leleh NaOH, yaitu sekitar 318°C. Pemanasan ini bertujuan untuk memastikan NaOH berada dalam fase cair, sehingga dapat menghantarkan listrik dengan lebih baik selama proses elektrolisis berlangsung. Namun, jika suhu operasi terlalu tinggi, maka efisiensi proses dapat berkurang karena meningkatnya energi yang terbuang serta kemungkinan dekomposisi parsial dari produk yang dihasilkan. Adapun reaksi elektrolisis yang terjadi dalam proses Castner dapat dijelaskan sebagai berikut:



Mekanisme dan Tantangan dalam Proses Castner Pada proses ini, NaOH dipanaskan hingga mencapai titik leburnya agar dapat dialirkan ke dalam sel elektrolitik. Di dalam sel ini, terjadi pemisahan ion Na^+ yang bergerak menuju katoda, sedangkan ion OH^- mengalami oksidasi di anoda, menghasilkan gas oksigen (O_2) dan air (H_2O). Salah satu tantangan utama dalam proses ini adalah ketidakmurnian produk akibat interaksi dengan udara. Karena kondisi operasi tidak dilakukan dalam ruang vakum, maka oksigen (O_2) dari udara dapat bereaksi dengan natrium cair, membentuk senyawa oksida yang dapat menurunkan kemurnian natrium yang dihasilkan. Hal ini juga menyebabkan kebutuhan akan tambahan arus listrik, yang diperlukan untuk mempertahankan efisiensi elektrolisis.

Selain itu, NaOH yang dilelehkan memiliki sifat higroskopis, artinya ia mudah menyerap air dari lingkungan sekitar. Kelembaban yang masuk ke dalam sistem dapat menurunkan kemurnian natrium yang dihasilkan, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kualitas produk akhir, termasuk dalam produksi sodium methoxide (natrium metanolat).

Untuk meningkatkan efisiensi dan kemurnian produk, beberapa langkah optimasi yang dapat diterapkan meliputi:

- 1) Penggunaan sistem vakum parsial untuk mengurangi kontaminasi udara yang dapat mempengaruhi reaksi elektrolisis.
- 2) Kontrol suhu yang ketat agar tetap berada dalam rentang optimal guna menghindari pemborosan energi dan degradasi produk.

- 3) Penambahan membran pemisah antara anoda dan katoda untuk meminimalkan interaksi produk dengan gas yang dihasilkan selama elektrolisis.
- 4) Penyimpanan dalam atmosfer inert (misalnya argon atau nitrogen) guna mencegah reaksi dengan udara dan menjaga kemurnian natrium hasil elektrolisis.

Dengan melakukan optimasi ini, natrium metanolat yang dihasilkan dapat memiliki kemurnian yang lebih tinggi, sehingga dapat digunakan secara lebih luas dalam berbagai industri, seperti biodiesel, farmasi, dan industri kimia lainnya.

3. Proses Downcell

Menurut Loftus (1962), Proses Downcell merupakan salah satu metode elektrolisis yang menggunakan campuran natrium hidroksida klorida, seperti Natrium Hidroksida (NaOH), kalsium klorida (CaCl_2), dan barium klorida (BaCl_2), sebagai bahan baku utama. Metode ini memanfaatkan suhu operasi tinggi, yaitu sekitar 590°C , dengan efisiensi mencapai 94%. Suhu tinggi ini diperlukan untuk meleburkan campuran natrium hidroksida, sehingga memungkinkan ion-ion dalam larutan bergerak bebas dan mengalami proses elektrolisis secara optimal. Di dalam proses ini, ion Na^+ mengalami reduksi di katoda, menghasilkan natrium cair, sedangkan ion Cl^- mengalami oksidasi di anoda, membentuk gas klorin (Cl_2) sebagai produk sampingan.

Salah satu keunggulan utama dari proses Downcell adalah efisiensinya yang tinggi, serta kemampuannya dalam menghasilkan natrium dengan kemurnian lebih tinggi dibandingkan metode elektrolisis lainnya. Hal ini disebabkan karena proses ini tidak menghasilkan air sebagai produk sampingan, yang dapat menurunkan kemurnian natrium.

Namun, proses ini juga memiliki tantangan, terutama dalam pengelolaan suhu tinggi yang diperlukan untuk menjaga natrium hidroksida dalam keadaan leleh. Selain itu, produk sampingan yang dihasilkan dalam bentuk logam alkali seperti Ca dan Ba dapat menjadi pengotor, meskipun tidak terlalu mempengaruhi kualitas akhir dari natrium yang diproduksi.

Sebagai perbandingan, metode elektrolisis yang menggunakan natrium hidroksida hidroksida (NaOH) seperti Proses Castner memang beroperasi pada suhu lebih rendah, tetapi memiliki kelemahan utama, yaitu menghasilkan air yang dapat mengurangi kemurnian natrium metanolat yang dihasilkan. Oleh karena itu, dalam industri yang membutuhkan natrium berkualitas tinggi, seperti dalam pembuatan natrium metanolat, metode berbasis klorida seperti Proses Downcell lebih disukai karena memberikan produk yang lebih murni dengan sedikit pengotor dari air.

Natrium metanolat (CH_3ONa) merupakan senyawa penting yang banyak digunakan dalam industri biodiesel, farmasi, dan sintesis kimia lainnya. Salah satu langkah utama dalam

produksiya adalah dengan mereaksikan natrium (Na) yang diperoleh dari proses elektrolisis dengan metanol (CH_3OH)

Karena kemurnian natrium sangat berpengaruh terhadap kualitas natrium metanolat yang dihasilkan, maka pemilihan metode produksi natrium sangatlah penting. Proses Downcell lebih disukai karena menghasilkan natrium dengan kemurnian tinggi, sementara Proses Castner kurang ideal karena adanya kontaminasi air yang dapat mengurangi efektivitas reaksi dengan metanol.

Untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas dalam produksi natrium dan natrium metanolat, beberapa langkah optimalisasi dapat dilakukan, antara lain: Kontrol ketat terhadap suhu dan tekanan dalam Downcell untuk menghindari pembentukan pengotor logam alkali dalam natrium cair.

Penggunaan bahan baku berkualitas tinggi, seperti NaOH dengan kemurnian tinggi, untuk mengurangi kemungkinan kontaminasi dari kotoran logam seperti Ca dan Ba. Pemanfaatan gas klorin yang dihasilkan sebagai produk sampingan dalam industri lain, seperti produksi PVC atau disinfektan, untuk meningkatkan efisiensi ekonomi proses ini. Penyimpanan natrium dalam kondisi inert (seperti nitrogen atau minyak mineral) untuk mencegah reaksi dengan udara atau kelembaban yang dapat menurunkan kualitasnya sebelum digunakan dalam pembuatan natrium metanolat. Dengan menerapkan metode ini, proses Downcell dapat menjadi pilihan utama dalam industri untuk memproduksi natrium berkualitas tinggi, yang pada akhirnya akan menghasilkan natrium metanolat dengan kemurnian tinggi dan mendukung berbagai aplikasi industri secara lebih efisien.

4. Proses Metanol dan NaOH

Pada proses ini, Natrium Hidroksida (NaOH) dan metanol (CH_3OH) direaksikan dalam sebuah sistem elektrolisis untuk menghasilkan natrium metanolat (CH_3ONa) sebagai produk utama. Proses ini dilakukan dalam satu wadah reaksi dengan menggunakan arus listrik searah (DC) guna menguraikan senyawa yang terlibat dalam reaksi. Selain itu, proses ini juga memungkinkan pemisahan produk sampingan secara simultan, yaitu gas klorin (Cl_2) dan gas hidrogen (H_2), yang dapat dimanfaatkan dalam industri lain.

Untuk memastikan hasil yang optimal, kandungan air dalam bahan baku harus seminimal mungkin. Hal ini dikarenakan keberadaan air dalam jumlah signifikan dapat menghambat reaksi utama serta menurunkan kemurnian natrium metanolat yang dihasilkan. Oleh karena itu, NaOH dan metanol yang digunakan dalam proses ini harus memiliki tingkat kemurnian yang tinggi. Adapun reaksi yang terjadi dalam sel elektrolisa dapat dituliskan sebagai berikut:



Reaksi ini berlangsung dalam sistem elektrolisis yang terdiri dari tiga bagian utama, yaitu katoda, buffer, dan anoda. Untuk memastikan pemisahan yang efektif, masing-masing bagian tersebut dibatasi oleh membran khusus. Exchange membrane digunakan untuk membatasi katoda dan buffer guna memastikan hanya ion tertentu yang dapat melewati batas tersebut. Sementara itu, antara anoda dan buffer digunakan cation exchange membrane yang berfungsi mencegah perpindahan ion yang tidak diinginkan, sehingga reaksi tetap berjalan secara optimal.

Produk natrium metanolat yang dihasilkan melalui proses ini memiliki kadar sekitar 30%, yang sudah sesuai dengan spesifikasi produk yang diharapkan dalam berbagai aplikasi industri. Konsentrasi ini dianggap cukup sehingga proses pemekatan tambahan tidak diperlukan. Namun, meskipun produk akhir sudah sesuai, investasi awal untuk membangun sistem elektrolisis ini relatif besar karena memerlukan peralatan khusus yang mampu menahan kondisi operasi dan mempertahankan efisiensi elektrolisis yang tinggi.

Proses ini akan berlangsung secara kontinyu dengan menggunakan satu buah sel elektrolisis dengan 3 bagian yaitu bagian katoda, buffer, dan anoda. Masing-masing bagian akan dibatasi dengan sebuah membran. Untuk membatasi katoda dan buffer akan digunakan anion exchange membrane, sedangkan untuk memisahkan anoda dan buffer digunakan kation exchange membrane. Natrium metanolat yang dihasilkan akan memiliki kadar 30%. Konsentrasi ini masih sudah sesuai dengan produk yang diharapkan. Oleh karena itu, proses pemekatan tidak perlu dilakukan. Namun pada proses ini dibutuhkan sel elektrolisa yang membutuhkan biaya investasi yang relatif besar.

5. Proses Membran Pervaporasi

Membran pervaporasi adalah suatu proses pemisahan menggunakan membran semipermeabel yang memungkinkan molekul untuk menguap (vapor) dan kemudian mengkondensasi kembali melalui membran. Proses ini sangat efektif untuk memisahkan campuran cairan yang memiliki perbedaan volatilitas, seperti metanol dan air dalam produksi NaOCH_3 .

Pada pembuatan natrium metanolat, terutama menggunakan natrium logam, metanol digunakan dalam jumlah besar untuk bereaksi dengan natrium logam untuk membentuk natrium metoksida. Namun, dalam proses ini, metanol juga harus dipisahkan dari produk, karena larutan natrium metoksida biasanya mengandung 25-30% metanol. Langkah-langkah dalam aplikasi membran pervaporasi di proses ini:

1. **Proses Reaksi:** Natrium logam (Na) dipanaskan dan direaksikan dengan metanol (CH₃OH) dalam reaktor yang menghasilkan natrium metanolat (NaOCH₃) dan hidrogen (H₂) sebagai produk sampingan. Reaksi ini sangat eksotermik dan menghasilkan methanol yang masih terkandung dalam produk akhir.

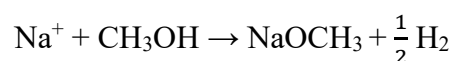
2. **Pemisahan Menggunakan Membran Pervaporasi:**

- Setelah reaksi, campuran yang terdiri dari NaOCH₃ dan metanol kemudian dipisahkan menggunakan proses pervaporasi.
- Membran pervaporasi memungkinkan pemisahan metanol dari campuran, karena metanol memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan dengan NaOCH₃.
- Metanol yang terkandung dalam produk akan teruapkan (vaporisasi) dan mengalir melalui membran, sementara NaOCH₃ tetap berada di fase cair pada sisi lain membran.

3. **Keuntungan Membran Pervaporasi:**

- Pemurnian Produk: Teknologi pervaporasi ini memungkinkan pemisahan metanol dengan efisiensi tinggi, yang sangat penting dalam memastikan kualitas produk natrium metoksida 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: Mengingat metanol memiliki titik didih yang lebih rendah, pervaporasi memberikan keuntungan dalam mengurangi energi yang diperlukan untuk pemisahan metanol dari campuran NaOCH₃.

4. **Integrasi dengan Proses Produksi:** Membran pervaporasi bisa diintegrasikan dengan proses produksi NaOCH₃ untuk mengoptimalkan pemisahan metanol secara langsung setelah reaksi berlangsung, menghindari kebutuhan distilasi yang memakan banyak energi. Dalam produksi natrium metoksida, membran pervaporasi bisa diterapkan setelah proses transesterifikasi yang menggunakan metanol. 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 larutan NaOCH₃, meningkatkan efisiensi dan mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Proses utama dalam pembuatan natrium metoksida menggunakan natrium logam dan metanol adalah sebagai berikut:



Keterangan :

Na^+ = Natrium logam

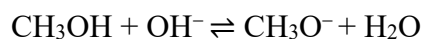
CH_3OH = Metanol

CH_3ONa = Natrium metanolat

H_2 = Hidrogen (produk sampingan)

Pada proses ini, metanol berlebih digunakan untuk memfasilitasi reaksi pembentukan natrium metoksida. Setelah reaksi selesai, produk yang dihasilkan berupa campuran natrium metoksida dan metanol yang harus dipisahkan. Pervaporasi, pemisahan metanol dari campuran CH_3ONa dan metanol terjadi berdasarkan perbedaan volatilitas. Proses ini melibatkan perubahan fase dari cair menjadi uap, dan pemisahan komponen berdasarkan kemampuan mereka untuk menguap.

1. **Keseimbangan Fase:** Campuran metanol dan CH_3ONa berada dalam fase cair sebelum proses pervaporasi. Begitu berada di sisi membran, metanol akan menguap dan mengalir ke sisi membran yang berbeda. Reaksi keseimbangan untuk campuran metanol dan air dapat dijelaskan dengan rumus:



Ini adalah reaksi antara metanol (CH_3OH) dan hidroksida (OH^-), membentuk metoksida (CH_3O^-) dan air.

2. **Koefisien aktivitas (γ):** Membran pervaporasi mengandalkan koefisien aktivitas untuk mengukur bagaimana setiap komponen berinteraksi dalam campuran. Misalnya, untuk methanol dan NaOCH_3 , koefisien aktivitasnya dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

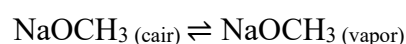
$$\gamma_{\text{CH}_3\text{OH}} = \frac{\alpha_{\text{CH}_3\text{OH}}}{\alpha_{\text{CH}_3\text{OH}}^0} \quad (1.1)$$

Di mana:

$\alpha_{\text{CH}_3\text{OH}}$ adalah aktivitas methanol dalam campuran,

$\alpha_{\text{CH}_3\text{OH}}^0$ adalah aktivitas methanol pada kondisi standar.

3. **Keseimbangan Kimia untuk Pervaporasi:** Membran pervaporasi memungkinkan pemisahan metanol dari campuran NaOCH_3 -metana. Karena metanol lebih volatil daripada NaOCH_3 , metanol akan lebih mudah menguap dan melintasi membran, sedangkan NaOCH_3 tetap berada di sisi cair. Keseimbangan untuk sistem ini dapat digambarkan sebagai:



Dalam proses pervaporasi, metanol akan menguap melalui membran pervaporasi dan menghasilkan dua fase terpisah: fase cair dan fase gas. Fase gas mengandung metanol yang terkonsentrasi, sedangkan fase cair mengandung natrium metoksida yang tidak terpengaruh oleh pervaporasi.

4. **Hukum Fick untuk Diffusi:** Diffusi komponen dalam membran pervaporasi mengikuti hukum Fick, yang digunakan untuk menggambarkan laju difusi komponen melalui membran. Rumus Fick untuk laju difusi (J) adalah sebagai berikut:

$$J = -D \cdot \frac{dC}{dx} \quad (1.2)$$

Di mana:

J = laju difusi ($\text{mol/m}^2\text{s}$),

D = koefisien difusi (m^2/s),

$\frac{dC}{dx}$ = gradien konsentrasi (mol/m^3).

Proses ini memungkinkan metanol untuk berpindah melalui membran pervaporasi menuju sisi yang memiliki tekanan yang lebih rendah, sementara natrium metoksida tetap berada di sisi yang lebih padat. Dalam konteks pemisahan metanol dari NaOCH_3 , pemisahan dilakukan dengan menguapkan metanol, yang memiliki titik didih lebih rendah, sementara NaOCH_3 tetap berada dalam fase cair. Proses ini dapat dievaluasi berdasarkan koefisien pemisahan (S) :

$$S = \frac{\text{Konsentrasi Metanol di Pervaporasi}}{\text{Konsentrasi Metanol di Cair}} \quad (1.3)$$

Semakin tinggi nilai S , semakin baik proses pemisahan metanol dari NaOCH_3 . Teknologi ini lebih efisien daripada distilasi karena dapat memisahkan metanol pada suhu yang lebih rendah dan menghemat energi.

1.4.2 Kegunaan Produk

Natrium metanolat merupakan senyawa yang banyak digunakan dalam berbagai industri, terutama dalam pembuatan biodiesel, di mana senyawa ini berperan sebagai katalis utama dalam proses transesterifikasi. Keunggulan natrium metanolat sebagai katalis adalah sifatnya yang sangat aktif, sehingga dapat meningkatkan efisiensi reaksi dengan menghasilkan *yield* produk biodiesel yang tinggi, mencapai lebih dari 99% (Khan et al., 2018).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Leung & Yau (2017), keunggulan lain dari natrium metanolat dalam produksi Fatty Acid Methyl Ester (FAME) adalah kemampuannya untuk tidak membentuk air selama proses reaksi. Hal ini sangat penting karena keberadaan air dalam reaksi transesterifikasi dapat menyebabkan pembentukan sabun, yang mengurangi efisiensi produksi biodiesel. Selain itu, biodiesel yang diproduksi menggunakan natrium

metanolat memiliki kualitas yang lebih tinggi dan stabilitas oksidasi yang lebih baik dibandingkan dengan katalis basa lainnya. Dengan demikian, nilai jual biodiesel yang dihasilkan juga menjadi lebih kompetitif di pasar global.

Selain dalam industri biodiesel, natrium metanolat juga memiliki berbagai aplikasi di industri kimia lainnya. Senyawa ini digunakan dalam sintesis senyawa organik, termasuk produksi rasa buatan, pewangi, serta sebagai bahan baku dalam pembuatan perekat dan cat. Dalam industri agrokimia, natrium metanolat dimanfaatkan dalam sintesis berbagai bahan aktif pestisida dan herbisida yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas pertanian.

Lebih lanjut, natrium metanolat juga memiliki peran penting dalam industri farmasi, terutama dalam manufaktur berbagai jenis obat-obatan, seperti vitamin dan obat antiinflamasi nonsteroid (NSAID), misalnya ibuprofen (Granjo & Oliveira, 2016). Dengan manfaat dan kegunaannya yang luas, natrium metanolat menjadi senyawa yang sangat bernilai dalam berbagai sektor industri, menjadikannya bahan yang terus dicari dan dikembangkan untuk aplikasi yang lebih inovatif di masa depan.

1.5 Tinjauan Proses Secara Umum

Tabel 1.9. Pertimbangan Proses Pembuatan Natrium Metanolat

Proses	Kelebihan	Kekurangan
Metanol dan NaOH	• Yield 20-30% • Bahan baku murah dan aman dioperasikan • Proses relatif sederhana	• Konsumsi energi tinggi • Biaya investasi mahal • Proses kompleks dengan pengendalian ketat
Proses Castner (Pembentukan Na)	• - Kemurnian CH_3ONa tinggi • Produk berkualitas tinggi tanpa kontaminasi air	• - Membutuhkan proses tambahan (pembuatan Na) • - Menggunakan logam Na yang reaktif • - Proses berbahaya
Proses Downs cell	• <i>Yield</i> hingga 30% • Reaksi tidak melibatkan air • Produksi Na murni sebagai hasil samping	• Membutuhkan proses tambahan untuk pembuatan Na • Suhu operasi tinggi • Penanganan logam Na berisiko

Proses Elektrolisa metanol dan NaOH	• <i>Yield</i> 20-30% • Proses lebih sederhana • Reaksi tidak menghasilkan air • Bahan baku melimpah dan murah	• Biaya investasi tinggi untuk peralatan • Konsumsi energi lebih tinggi • Memerlukan sistem pemisahan gas
Proses Distilasi Reaktif Terintegrasi Membran Pervaporasi	• <i>Yield</i> 20-30% • Proses reaksi dan pemisahan simultan sehingga menjaga konversi reaksi berlangsung ke arah produk • Bahan baku melimpah dan murah • Konsumsi energi cukup murah • Limbah proses yang dihasilkan cukup aman	• Biaya investasi tinggi untuk peralatan • Sistem penanganan dan keamanan yang cukup kompleks • Proses kompleks dengan pengendalian ketat

Berdasarkan Tabel 1.5, proses sintesis natrium metanolat yang paling efisien adalah proses distilasi reaktif 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 Castner dan Downs Cell.