

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri kimia di Indonesia saat ini menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan kimia bernilai tinggi yang digunakan sebagai bahan baku berbagai sektor industri. Salah satu produk kimia yang permintaannya terus bertambah adalah dimetil karbonat (DMC). Senyawa ini memiliki peran penting sebagai pelarut ramah lingkungan, bahan aditif bensin beroktan tinggi, bahan *intermediate* dalam industri farmasi, serta sebagai prekursor sintesis polikarbonat dan material berbasis karbonat lainnya (Medrano-García dkk., 2021). Kebutuhan DMC semakin meningkat terutama dengan berkembangnya industri baterai lithium-ion, otomotif, elektronik, dan polimer, baik di Indonesia maupun di dunia (Chang dkk., 2024). Meskipun demikian, hingga saat ini Indonesia masih mengandalkan impor DMC dari berbagai negara karena belum adanya pabrik DMC berskala industri yang berdiri di dalam negeri.

DMC juga memiliki karakteristik yang lebih aman dibandingkan senyawa konvensional seperti fosgen atau dimetil sulfat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi (Kohli dkk., 2022). Penggunaan DMC sebagai agen metilasi dan karbonilasi dirasa lebih ramah lingkungan sehingga banyak industri mulai beralih kepada senyawa ini. Hal tersebut menyebabkan permintaan global DMC terus meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan data perdagangan internasional, beberapa negara seperti Tiongkok, Jepang, Korea Selatan, dan Eropa merupakan produsen utama DMC yang memasok kebutuhan dunia (WITS, 2025). Sementara itu, industri dalam negeri hanya bertindak sebagai pengguna dan importir, sehingga ketergantungan terhadap pasar luar negeri masih sangat besar. Kondisi ini menunjukkan adanya peluang besar bagi Indonesia untuk membangun pabrik DMC agar dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sekaligus membuka potensi ekspor. Meskipun kebutuhan DMC di Indonesia cukup tinggi, hingga kini belum terdapat pabrik yang memproduksi DMC secara komersial. Hal ini mengakibatkan seluruh kebutuhan

industri lokal harus dipenuhi melalui impor, yang tentunya berdampak pada tingginya biaya produksi dan ketidakstabilan pasokan akibat fluktuasi harga internasional. Belum adanya pabrik DMC di Indonesia salah satunya disebabkan masih minimnya studi kelayakan serta belum diperkenalkannya proses produksi yang efisien dan ekonomis kepada calon investor. Dengan melihat tren peningkatan konsumsi DMC di berbagai sektor industri, pembangunan pabrik DMC di Indonesia dinilai sangat relevan untuk memenuhi kebutuhan nasional serta mengurangi ketergantungan terhadap produk impor.

Produksi dimetil karbonat dapat dilakukan melalui beberapa proses, salah satunya adalah proses *direct carbonation*, yaitu mereaksikan metanol dengan karbon dioksida (CO_2) menggunakan katalis tertentu (Ohno dkk., 2021). Pada perancangan ini, CO_2 tidak diperoleh dari emisi buangan tetapi dibeli dari pemasok komersial, sehingga kemurnian dan kualitas CO_2 terjamin sesuai kebutuhan proses. Proses *direct carbonation* memiliki beberapa keunggulan, seperti tidak menggunakan bahan berbahaya (fosgen), menghasilkan produk samping minimal, dan cocok diterapkan sebagai proses ramah lingkungan. Selain itu, metanol sebagai bahan baku utama merupakan senyawa yang ketersediaannya cukup melimpah di pasar domestik maupun internasional, sehingga tidak ada hambatan berarti untuk pemenuhan bahan baku.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan pasar yang terus meningkat, ketersediaan bahan baku yang memadai, serta peluang ekonomi yang besar bagi industri kimia nasional, maka pendirian pabrik dimetil karbonat dari metanol dan karbon dioksida dengan proses *direct carbonation* sangat penting untuk dilakukan. Selain dapat memenuhi permintaan pasar dalam negeri, pendirian pabrik ini juga berpotensi membuka lapangan pekerjaan baru, mengurangi ketergantungan impor, serta meningkatkan daya saing industri Indonesia dalam perdagangan bahan kimia global. Oleh karena itu, perancangan pabrik DMC ini menjadi langkah strategis yang diharapkan dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi perkembangan industri kimia di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Kebutuhan dimetil karbonat (DMC) di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan perkembangan berbagai industri seperti pelarut ramah lingkungan, bahan baku polikarbonat, farmasi, baterai lithium, serta sektor kimia organik lainnya. Namun hingga saat ini, Indonesia masih sepenuhnya bergantung pada impor untuk memenuhi kebutuhan DMC karena belum adanya pabrik DMC berskala industri yang beroperasi di dalam negeri. Kondisi ini menunjukkan bahwa peluang pasar DMC masih sangat luas dan berpotensi untuk dikembangkan. Selain itu, ketersediaan bahan baku utama seperti metanol dan CO₂ komersial dapat diperoleh dengan mudah, sehingga pendirian pabrik dimetil karbonat di Indonesia memiliki prospek yang baik untuk memenuhi permintaan industri nasional.

1.3 Tujuan Prarancangan Pabrik

Tujuan dari prarancangan pabrik dimetil karbonat (DMC) dari metanol dan karbon dioksida dengan proses *direct carbonation* adalah untuk menerapkan disiplin ilmu teknik kimia khususnya dalam bidang perancangan proses dan operasi sehingga dapat memberikan gambaran mengenai kelayakan teknis dan ekonomis pendirian pabrik DMC di Indonesia. Perancangan ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan DMC dalam negeri yang terus meningkat, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan kimia. Selain itu, perancangan pabrik ini diharapkan dapat menghasilkan produk DMC dengan kapasitas dan kualitas yang sesuai standar industri serta berpotensi memberikan nilai tambah ekonomi melalui kemungkinan ekspor sebagian produk.

1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik

Manfaat dari prarancangan pabrik dimetil karbonat (DMC) ini adalah untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam mengaplikasikan ilmu teknik kimia dalam bentuk perancangan proses industri kimia secara nyata, meliputi aspek teknis, ekonomi, utilitas, dan keseluruhan sistem produksi. Selain manfaat akademik tersebut, pendirian pabrik DMC juga memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Memenuhi kebutuhan DMC dalam negeri, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap impor dari negara lain.
2. Menghemat devisa negara dengan menekan volume impor DMC yang selama ini dibutuhkan oleh berbagai sektor industri.
3. Membuka peluang ekspor apabila kapasitas produksi melebihi kebutuhan domestik, sehingga dapat menambah pendapatan negara.
4. Menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat sekitar lokasi pabrik dan mendukung peningkatan kualitas sumber daya manusia melalui alih teknologi.
5. Mendorong kemandirian industri kimia nasional serta memperkuat rantai pasok bahan baku bagi industri hilir seperti polikarbonat, baterai lithium, pelarut, dan farmasi.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penyusunan dan penyelesaian Tugas Perancangan Pabrik Dimetil Karbonat (DMC) ini, penulis membatasi pembahasan pada aspek-aspek utama perancangan pabrik yang meliputi perhitungan neraca massa dan neraca energi, penentuan spesifikasi utama peralatan proses, perancangan unit utilitas, perencanaan lokasi dan tata letak pabrik, perancangan struktur organisasi perusahaan, sistem instrumentasi dan keselamatan kerja, serta analisis ekonomi untuk menilai kelayakan pendirian pabrik. Perancangan dilakukan pada kondisi steady state dengan penyusunan *flowsheet* proses yang disimulasikan menggunakan *software Aspen Hysys*.

1.6 Ketersediaan Bahan Baku

Pemilihan bahan baku merupakan salah satu tahap penting dalam prarancangan pabrik karena sangat mempengaruhi kelangsungan operasi, efisiensi proses, serta aspek ekonomis produksi. Bahan baku yang digunakan harus tersedia secara kontinu, mudah diperoleh, memiliki tingkat kemurnian yang sesuai dengan kebutuhan proses, serta aman dalam penanganannya. Selain itu, pemilihan bahan baku juga mempertimbangkan dampak lingkungan dan kesesuaian dengan proses

yang dipilih. Pada prarancangan pabrik dimetil karbonat ini digunakan bahan baku utama berupa metanol dan karbon dioksida dengan katalis cerium oksida (CeO_2) pada proses *direct carbonation*. Pemilihan masing-masing bahan tersebut dijelaskan sebagai berikut.

1.6.1 Metanol

Metanol (CH_3OH) merupakan bahan baku utama dalam pembuatan dimetil karbonat melalui proses *direct carbonation*. Metanol berperan sebagai penyumbang gugus metoksi ($-\text{OCH}_3$) yang bereaksi dengan karbon dioksida membentuk senyawa dimetil karbonat. Pemilihan metanol sebagai bahan baku didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan ekonomis. Ketersediaan metanol dalam jumlah besar menjadi salah satu alasan utama pemilihannya sebagai bahan baku. Metanol diproduksi secara luas dan mudah diperoleh baik dari pasar domestik maupun internasional. Penyediaan bahan baku Metanol (CH_3OH) diperoleh dari PT. Kaltim Methanol Industri (KMI) yang berkapasitas 660.000 ton/tahun. Keberadaan industri metanol di sekitar lokasi pabrik yang direncanakan juga mendukung kontinuitas pasokan bahan baku. Ketersediaan yang memadai akan menjamin kelangsungan operasi pabrik secara berkelanjutan.

Sifat fisika metanol juga mendukung penggunaannya dalam proses ini. Metanol berbentuk cair pada kondisi operasi dengan titik didih relatif rendah sehingga mudah disimpan dan ditransportasikan. Sifat polar dan kemampuan bercampur dengan berbagai senyawa memudahkan proses pencampuran dalam reaktor. Reaktivitas metanol yang cukup tinggi juga sesuai untuk reaksi pembentukan dimetil karbonat. Pertimbangan ketersediaan, kemudahan penanganan, serta kesesuaian dengan proses yang digunakan menjadikan metanol dipilih sebagai bahan baku utama dalam prarancangan pabrik dimetil karbonat ini.

1.6.2 Karbon Dioksida

Karbon dioksida (CO_2) merupakan bahan baku kedua yang digunakan dalam proses pembuatan dimetil karbonat. Pada reaksi *direct carbonation*, karbon dioksida berperan sebagai sumber gugus karbonat yang bereaksi dengan metanol untuk menghasilkan dimetil karbonat dan air sebagai produk samping. Ketersediaan karbon dioksida yang melimpah menjadi pertimbangan penting dalam

pemilihannya. Karbon dioksida dapat diperoleh dari pemasok gas industri dengan kemurnian yang sesuai dengan kebutuhan proses. Penggunaan karbon dioksida komersial memberikan keuntungan operasional karena kualitas bahan baku lebih terkontrol dan stabil. Karbon Dioksida (CO_2) diperoleh dari PT. Samator Gas Industri Bontang.

Aspek keselamatan juga mendukung penggunaan karbon dioksida sebagai bahan baku. Karbon dioksida tidak mudah terbakar dan relatif aman dalam penanganannya dibandingkan bahan baku alternatif lainnya. Pemanfaatan karbon dioksida sebagai bahan baku juga memberikan nilai tambah dari sisi lingkungan karena senyawa ini umumnya dikaitkan dengan emisi gas rumah kaca. Pertimbangan ketersediaan, keselamatan, serta manfaat lingkungan menjadikan karbon dioksida dipilih sebagai bahan baku yang sesuai untuk proses pembuatan dimetil karbonat pada prarancangan pabrik ini.

1.6.3 Katalis Cerium Oksida (CeO_2)

Proses *direct carbonation* memerlukan katalis untuk meningkatkan laju reaksi antara metanol dan karbon dioksida. Katalis yang digunakan dalam prarancangan ini adalah cerium oksida (CeO_2). Penggunaan katalis bertujuan untuk mempercepat reaksi serta meningkatkan konversi pembentukan dimetil karbonat. Cerium oksida memiliki stabilitas termal yang baik sehingga mampu bekerja pada kondisi operasi yang relatif moderat. Aktivitas katalitik yang dimiliki juga mendukung interaksi antara metanol dan karbon dioksida selama reaksi berlangsung. Stabilitas katalis yang tinggi mengurangi kemungkinan terjadinya deaktivasi selama proses operasi.

Penggunaan katalis cerium oksida juga dilaporkan mampu memberikan konversi reaksi yang lebih tinggi dibandingkan beberapa katalis lain. Kinerja katalis yang baik dapat meningkatkan efisiensi proses serta mendukung kelayakan teknis prarancangan pabrik. Pemilihan katalis cerium oksida didasarkan pada stabilitas, aktivitas katalitik, serta kemampuannya dalam meningkatkan konversi reaksi pembentukan dimetil karbonat.

1.7 Penentuan Kapasitas Pabrik dan Ekstrapolasi

Kapasitas produksi dapat diartikan sebagai jumlah produk maksimal yang dapat diproduksi dalam tiap tahun. Kapasitas perancangan pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan produksi dan ekonomis. Semakin besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar, tetapi dalam penentuan kapasitas juga dipertimbangkan faktor lainnya. Hal yang perlu diperhatikan dalam penentuan kapasitas perancangan pabrik yaitu data kebutuhan konsumen dimetil karbonat di Indonesia, kapasitas minimal pabrik yang telah beroperasi, dan ketersediaan bahan bakunya. Data tersebut akan diuraikan sebagai berikut.

1.7.1 Data Kebutuhan Dimetil Karbonat (DMC) di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang masih mengimpor dimetil karbonat untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Berikut ini merupakan data kebutuhan dimetil karbonat di Indonesia dari tahun 2015-2025 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) dapat dilihat pada Tabel 1.1

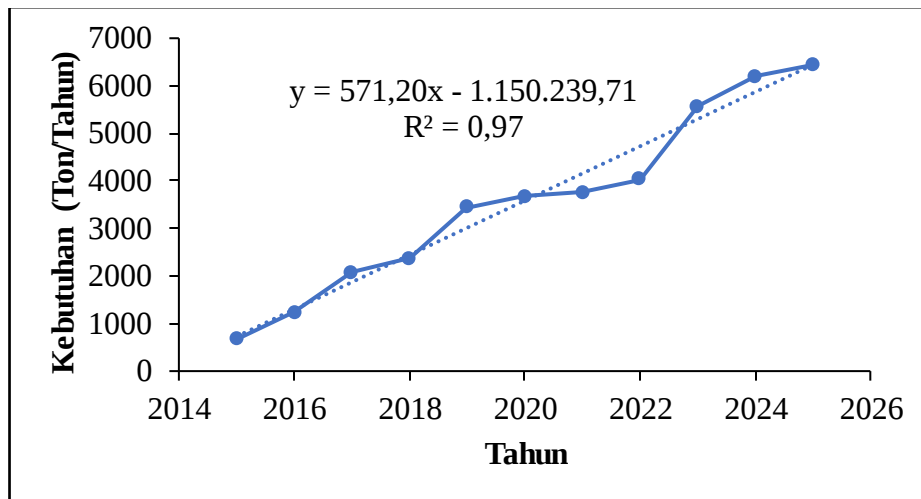
Tabel 1.1 Data Kebutuhan Dimetil Karbonat di Indonesia Tahun 2015-2025

No.	Tahun	Kebutuhan (Ton/Tahun)
1.	2015	666,837
2.	2016	1.226,062
3.	2017	2.064,887
4.	2018	2.370,805
5.	2019	3.444,298
6.	2020	3.667,486
7.	2021	3.747,178
8.	2022	4.034,395
9.	2023	5.564,33
10.	2024	6.187,98
11.	2025	6.438,01

Sumber : (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2026)

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kebutuhan dimetil karbonat mengalami trend yang meningkat setiap tahunnya. Oleh karena itu direncanakan

dibangun pabrik dimetil karbonat di Indonesia juga memenuhi kebutuhan dalam negeri serta diharapkan Indonesia menjadi negara pengeksport dimetil karbonat khususnya untuk wilayah Asia. Berikut ini gambar 1.1 Data Kebutuhan Dimetil Karbonat di Indonesia.



Gambar 1.1 Grafik Data Kebutuhan Dimetil Karbonat di Indonesia Tahun 2015-2025

Berdasarkan grafik di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 571,20x - 1.150.239,71$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0,97$. Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan dimetil karbonat di Indonesia pada tahun 2030 mendatang sebagai berikut.

$$y = 571,20x - 1.150.239,71$$

$$y = 571,20 (2030) - 1.150.239,71$$

$$y = 9.296,29 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka kebutuhan dimetil karbonat di Indonesia pada tahun 2030 meningkat menjadi sebesar 9.296,29 Ton/Tahun.

Berdasarkan Tabel 1.1 dan Gambar 1.1 didapatkan hasil data ekstrapolasi impor dimetil karbonat di Indonesia melalui Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Data Ekstrapolasi Kebutuhan Dimetil Karbonat di Indonesia

No.	Tahun	Kebutuhan (Ton/Tahun)
1.	2026	7011,49
2.	2027	7582,69
3.	2028	8153,89
4.	2029	8725,09
6.	2030	9296,29
7.	2031	9867,49
8.	2032	10.438,69
9.	2033	11.009,89
10.	2034	11.581,09
11.	2035	12.152,29

1.7.2 Kebutuhan Dimetil Karbonat di Luar Negeri

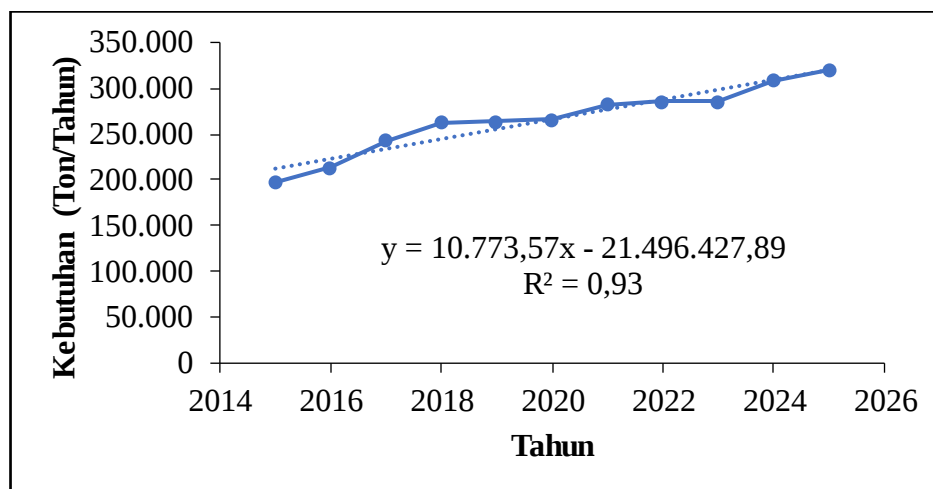
Berdasarkan data dari WITS, kebutuhan akan dimetil karbonat dari tahun 2015-2025 di luar negeri dapat dilihat pada Tabel 1.3 dibawah ini.

Tabel 1.3 Data Kebutuhan Dimetil Karbonat di Luar Negeri Tahun 2015-2025

No.	Tahun	Ekspor (Ton/Tahun)
1.	2015	197.351
2.	2016	213.296
3.	2017	243.155
4.	2018	262.256
5.	2019	264.271
6.	2020	266.245
7.	2021	282.211
8.	2022	285.087
9.	2023	285.419
10.	2024	308.597
11.	2025	320.050

Sumber: (WITS, 2026)

Tabel 1.3 memperlihatkan adanya kecenderungan peningkatan jumlah kebutuhan dimetil karbonat dari tahun ke tahun, yang menunjukkan meningkatnya kebutuhan dimetil karbonat di pasar internasional. Berdasarkan data tersebut, dilakukan perhitungan perkiraan total kebutuhan dimetil karbonat menggunakan metode ekstrapolasi diperoleh dari persamaan grafik data kebutuhan dimetil karbonat di luar negeri yang ditunjukkan Pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Grafik Data Kebutuhan Dimetil Karbonat di Luar Negeri Tahun 2015-2025

Dari grafik di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 10.773,57x - 21.496.427,89$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0,93$. Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan dimetil karbonat dalam negeri pada tahun 2030 mendatang sebagai berikut.

$$y = 10.773,57x - 21.496.427,89$$

$$y = 10.773,57(2030) - 21.496.427,89$$

$$y = 373.919,21 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka impor dimetil karbonat di Indonesia pada tahun 2030 meningkat menjadi sebesar 373.919,21 Ton/Tahun.

Berdasarkan Tabel 1.3 dan Gambar 1.2 didapatkan hasil data ekstrapolasi impor dimetil karbonat di luar negeri melalui Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Data Ekstrapolasi Kebutuhan Dimetil Karbonat di Luar Negeri

No.	Tahun	Ekspor (Ton/Tahun)
1.	2026	330.824,93
2.	2027	341.598,50
3.	2028	352.372,07
4.	2029	363.145,64
5.	2030	373.919,21
6.	2031	384.692,78
7.	2032	395.466,35
8.	2033	406.239,92
9.	2034	417.013,49
10.	2035	427.787,06

Berikut perhitungan kapasitas produksi pada tahun 2030.

$$\begin{aligned}
 \text{Permintaan produk} &= \text{kebutuhan dalam negeri} + \text{kebutuhan luar negeri} \\
 &= 9.296,29 + 373.919,21 \text{ ton/tahun} \\
 &= 383.215,5 \text{ ton/tahun} \\
 \text{Peluang kapasitas produksi} &= \text{total permintaan produk} \times 50\% \\
 &= 383.210,07 \times 50\% \\
 &= 191.607,75 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Penentuan kapasitas produksi pabrik Dimetil Karbonat (DMC) ini didasarkan pada dua pertimbangan utama, yaitu pemenuhan kebutuhan dalam negeri dan peluang ekspor ke kawasan Asia Tenggara. Berdasarkan hasil ekstrapolasi data impor DMC Indonesia sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.2, kebutuhan DMC dalam negeri pada tahun 2030 diproyeksikan mencapai 9.296,29 ton/tahun. Dengan mempertimbangkan kebutuhan domestik secara lebih luas meliputi sektor industri petrokimia, baterai lithium-ion, pelarut industri, dan octane booster bahan bakar, total kebutuhan pasar domestik Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 12.000 ton/tahun pada tahun 2030.

Namun demikian, penetapan kapasitas produksi sebesar 200.000 ton/tahun tidak semata-mata didasarkan pada kebutuhan domestik yang relatif kecil tersebut. Pertimbangan yang jauh lebih strategis adalah peluang pasar ekspor ke kawasan Asia Tenggara (ASEAN), yang hingga saat ini belum memiliki satu pun pabrik DMC skala besar yang beroperasi secara komersial. Kawasan Asia Tenggara sepenuhnya bergantung pada impor DMC dari produsen besar seperti Tiongkok, sehingga terdapat *supply gap* yang sangat signifikan dan menjadikan Indonesia berpeluang strategis untuk menjadi pemasok utama DMC di kawasan ASEAN.

Permintaan DMC di kawasan Asia Pasifik terus meningkat pesat, didorong oleh penggunaan yang semakin luas di negara-negara seperti Thailand, Taiwan, Singapura, dan Malaysia, terutama dalam produksi polikarbonat, baterai lithium-ion, serta industri cat dan pelapis. Pasar DMC global diproyeksikan tumbuh dari USD 1,92 miliar pada tahun 2025 menjadi USD 6,69 miliar pada tahun 2032, dengan CAGR sebesar 23,8%, yang didorong terutama oleh lonjakan permintaan

dari sektor baterai lithium-ion untuk kendaraan listrik (Intelmarketresearch, 2025). Pertumbuhan yang sangat pesat ini memberikan jaminan bahwa produksi DMC sebesar 200.000 ton/tahun akan dapat terserap penuh oleh pasar regional.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, kapasitas produksi 200.000 ton/tahun didistribusikan untuk memenuhi pasar domestik Indonesia dan pasar ekspor ke lima negara tujuan utama di kawasan ASEAN, yaitu Malaysia, Thailand, Vietnam, Filipina, dan Singapura. Rincian distribusi kapasitas produksi disajikan pada Tabel 1.5 berikut:

Tabel 1.5 Distribusi Kapasitas Produksi DMC 200.000 Ton/Tahun

No.	Negara Tujuan	Kapasitas (Ton/Tahun)	Persentase (%)	Keterangan
1.	Indonesia (Domestik)	12.000	6%	Kebutuhan industri dalam negeri
2.	Malaysia	45.000	22,5%	Industri elektronik & polikarbonat
3.	Thailand	50.000	25%	Industri otomotif & baterai EV
4.	Vietnam	40.000	20%	Industri manufaktur & elektronik
5.	Filipina	30.000	15%	Industri kimia & pelarut
6.	Singapura	23.000	11,5%	Hub distribusi kimia regional
	Total	200.000	100%	

Penetapan distribusi kapasitas ke masing-masing negara tujuan ekspor didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

1. Thailand (25% / 50.000 ton/tahun) ditetapkan sebagai pasar ekspor terbesar karena Thailand merupakan salah satu pengguna utama DMC di Asia Tenggara, terutama untuk produksi polikarbonat dan industri otomotif. Thailand juga memiliki target ambisius pemerintah untuk menjadi pusat produksi kendaraan listrik (EV) di ASEAN, sehingga permintaan DMC sebagai komponen elektrolit baterai lithium-ion terus meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun.

2. Malaysia (22,5% / 45.000 ton/tahun) merupakan pasar kedua terbesar karena Malaysia memiliki industri semikonduktor, elektronik, dan polimer yang sangat maju. Malaysia termasuk dalam kelompok negara dengan permintaan DMC yang signifikan di kawasan Asia Pasifik, khususnya untuk aplikasi pelarut industri, produksi polikarbonat, dan komponen baterai pada perangkat elektronik portabel (Maximizemarketresearch, 2025).
3. Vietnam (20% / 40.000 ton/tahun) dialokasikan berdasarkan pertumbuhan sektor manufaktur dan industri elektronik Vietnam yang sangat pesat dalam satu dekade terakhir. Vietnam telah berkembang menjadi salah satu pusat manufaktur elektronik terbesar di ASEAN, sehingga kebutuhan DMC sebagai pelarut industri dan bahan baku kimia antara terus meningkat secara signifikan seiring ekspansi kapasitas industri di negara tersebut.
4. Filipina (15% / 30.000 ton/tahun) dialokasikan untuk memenuhi kebutuhan industri kimia, agrokimia, dan farmasi. Filipina merupakan salah satu negara ASEAN dengan industri agrokimia yang cukup besar, di mana DMC digunakan sebagai bahan baku sintesis pestisida dan karbamat. Selain itu, pertumbuhan industri elektronik dan manufaktur di Filipina turut mendorong peningkatan kebutuhan DMC sebagai pelarut industri.
5. Singapura (11,5% / 23.000 ton/tahun) meskipun memiliki ukuran pasar yang lebih kecil, Singapura merupakan pusat distribusi dan perdagangan kimia (chemical hub) terpenting di Asia Tenggara. Distribusi ke Singapura tidak hanya ditujukan untuk kebutuhan industri lokal, tetapi juga memanfaatkan infrastruktur logistik dan pelabuhan Singapura yang sangat maju sebagai titik redistribusi DMC ke pasar yang lebih luas di kawasan regional maupun internasional.
6. Indonesia (6% / 12.000 ton/tahun) difokuskan untuk memenuhi kebutuhan industri dalam negeri, meliputi industri petrokimia di Kalimantan Timur, industri cat dan pelapis, farmasi, serta sebagai octane booster bahan bakar di PT. Pertamina Refinery Unit V Balikpapan. Proyeksi impor DMC Indonesia yang mencapai 9.294,31 ton/tahun pada tahun 2030 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.2 membuktikan bahwa alokasi 12.000 ton/tahun

untuk pasar domestik bersifat konservatif dan sangat realistis untuk dipenuhi.

Dengan distribusi pasar yang telah diuraikan di atas, kapasitas produksi 200.000 ton/tahun dinilai sangat layak untuk diserap sepenuhnya oleh pasar. Mengingat tidak adanya pabrik DMC skala besar di kawasan Asia Tenggara, keberadaan pabrik DMC ini akan menjadikan Indonesia sebagai pemasok DMC regional yang strategis sekaligus mengurangi ketergantungan negara-negara ASEAN terhadap impor DMC dari Tiongkok yang selama ini mendominasi pasokan di kawasan Asia Pasifik. Dengan demikian, kapasitas produksi sebesar 200.000 ton/tahun dipandang sebagai kapasitas yang optimum, baik dari sisi teknis, ekonomis, maupun strategis dalam rangka penguatan posisi Indonesia di pasar kimia regional.

Pendirian pabrik ini ditargetkan mulai beroperasi pada tahun 2030 guna mendukung kemandirian industri kimia nasional. Adapun harapan dari pendirian pabrik dimetil karbonat ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu memenuhi kebutuhan dimetil karbonat dalam negeri yang terus meningkat setiap tahun sehingga mengurangi ketergantungan terhadap impor.
2. Mampu mendukung kebutuhan industri hilir seperti baterai lithium, polikarbonat, pelarut elektronik, dan industri kimia organik lainnya yang memerlukan DMC sebagai bahan baku.
3. Dapat menghemat devisa negara melalui pengurangan impor, serta berpotensi meningkatkan devisa melalui ekspor apabila kapasitas produksi melebihi kebutuhan domestik.

Data industri dimetil karbonat di beberapa negara dan kapasitas produksi ditunjukkan pada Tabel 1.6 sebagai berikut.

Tabel 1.6 Data Pabrik dan Kapasitas Produksi Dimetil Karbonat

No.	Nama Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
1.	Ube Corporation, Jepang	85.000
2.	Ube Corporation, Amerika Serikat	100.000
3.	Balaji Amines, India	450.000
4.	Zhejiang Petrochemical Co., Ltd, China	350.000
5.	Lotte Chemical Daesan Complex, Korea Selatan	170.000

Sumber: (Speciality Chemicals Magazine, 2025)

1.8 Seleksi Pemilihan Proses

Dalam Pembuatan dimetil karbonat ada 3 macam proses yang telah dikembangkan, proses tersebut menggunakan bahan baku yang berbeda-beda, yaitu sebagai berikut.

1.8.1 Proses *Direct Carbonation*

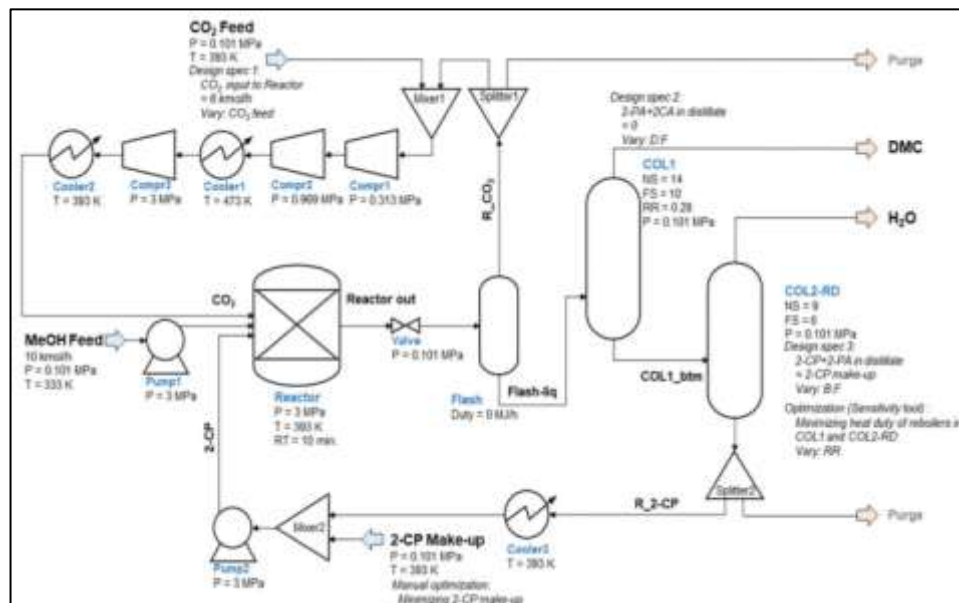
Produksi DMC dilakukan melalui proses karbonilasi metanol, dengan katalis CeO_2 , yang mempercepat reaksi antara CO_2 dan metanol menjadi DMC dan air. Reaksi yang berlangsung adalah:



Reaksi ini berlangsung dalam fase campuran cair-gas, gas CO_2 dan metanol dialirkan dan disesuaikan suhu dan tekanannya ke dalam kondisi operasi reaktor CSTR yaitu 120°C dan tekanan 29,61 atm dengan konversi reaktor 96%. Setelah reaksi, campuran produk dan reaktan sisa dialirkan ke alat penurunan tekanan dan kemudian ke kolom distilasi untuk memisahkan DMC dari metanol dan CO_2 yang tidak bereaksi.

DMC dan metanol membentuk campuran azeotrop karena memiliki titik didih yang berdekatan, sehingga diperlukan teknologi khusus untuk memperoleh DMC dengan kemurnian tinggi, seperti distilasi reaktif, distilasi ekstraktif, *pressure swing distillation* dan metode lainnya. Dalam hal ini, distilasi ekstraktif menggunakan air dipilih karena lebih ekonomis dan mampu menghasilkan DMC

dengan tingkat kemurnian yang optimal. Distilasi ekstraktif ini dilakukan pada tekanan atmosferis, dengan suhu maksimum sekitar 101,4°C pada kolom terakhir, sehingga tidak memerlukan energi tambahan yang signifikan untuk pemanasan. Metode ini juga menghemat energi dan menurunkan biaya tahunan hingga dibandingkan metode *pressure swing distillation* yang membutuhkan tekanan tinggi hingga 1,2 MPa dan suhu hingga 189°C. Dengan efisiensi energi yang lebih baik dan biaya operasional yang lebih rendah, distilasi ekstraktif menjadi pilihan yang unggul untuk pemisahan DMC-metanol dalam skala industri (Ohno dkk., 2021). *Flowsheet* dasar dari proses *Direct Carbonation* dapat dilihat pada Gambar 1.3 sebagai berikut:



Gambar 1.3 *Flowsheet* Dasar dari Proses *Direct Carbonation* (Ohno dkk., 2021)

a. Uji Ekonomi Awal Proses *Direct Carbonation*

Uji ekonomi awal untuk proses *direct carbonation* ditunjukkan pada Tabel 1.7 berikut.

Tabel 1.7 Uji Ekonomi Awal Proses *Direct Carbonation*

Bahan baku yang Digunakan	Berat Molekul (kg/kmol)	Harga (Rp/Kg)
Bahan Baku:		
1. Metanol	32,04	4.840
2. Karbon Dioksida	44	3.130
Produk:		
1. Dimetil Karbonat	90,08	10.160
2. Air	18	0

Sumber: (ChemAnalyst, 2026)

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

Rx:

PE = Biaya Produk – Biaya Bahan Baku

PE = [(Mol × BM Dimetil Karbonat × Harga) + (Mol × BM Air × Harga)] – [2 (Mol × BM Metanol × Harga) + (Mol × BM Karbon Dioksida x Harga)]

PE = [(1 × 90,08 × Rp. 10.160) + (1 × 18 × Rp. 0)] – [(2 × 32,04 × Rp. 4.840) + (1 × 44 x 3.130)]

PE = [Rp. 915.213] – [Rp. 310.147 + Rp. 137.720]

PE = (Rp. 915.213 – Rp. 447.867)

PE = Rp. 467.346

1.8.2 Proses *Oxidative Carbonylation*

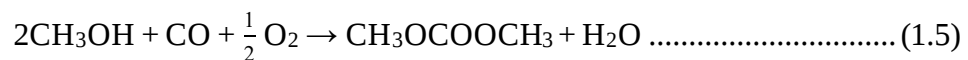
Produksi dimulai dari tahap sintesis metanol, di mana gas Hidrogen (H₂) dan Karbon Dioksida (CO₂) direaksikan dalam reaktor bertekanan menggunakan katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ pada tekanan sekitar 78,95 atm.



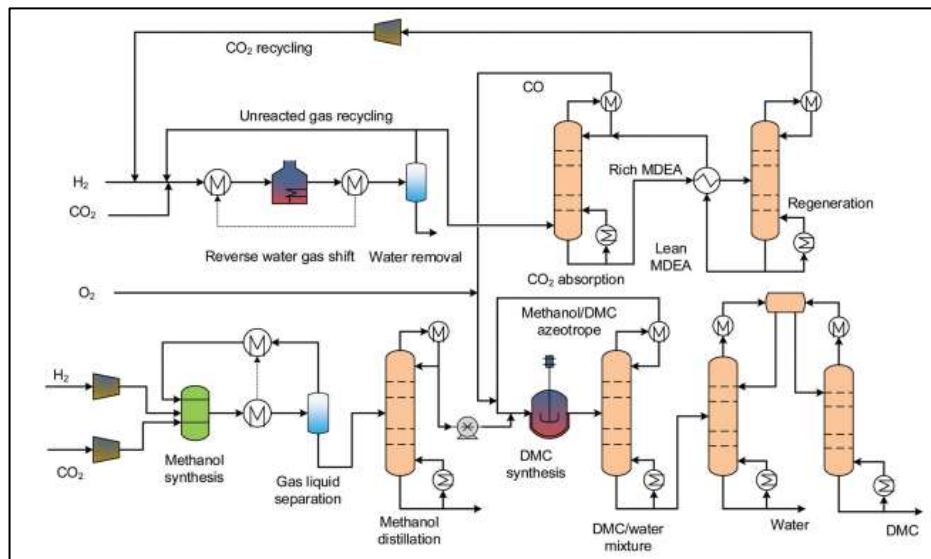
Reaksi berlangsung secara eksotermis, menghasilkan campuran gas-cair yang terdiri dari metanol dan air. Fraksi cair kemudian dipisahkan melalui proses distilasi untuk memperoleh metanol dengan kemurnian tinggi sebagai bahan baku utama pada tahap berikutnya. Bersamaan dengan tahap sintesis metanol, sebagian

CO₂ dan H₂ juga diumpankan ke unit *Reverse Water Gas Shift* (RWGS) untuk menghasilkan karbon monoksida (CO), yang dibutuhkan sebagai reaktan pada reaksi karbonilasi. Reaksi RWGS dilakukan pada temperatur tinggi sekitar 900°C dan tekanan 29,6 atm dengan katalis Ni–Al₂O₃. Tahap ini bersifat endotermis sehingga memerlukan suplai panas eksternal dalam jumlah besar untuk menjamin laju reaksi tetap optimum sekaligus menekan reaksi samping pembentukan metana.

Tahap inti dari proses ini adalah reaksi oksidatif antara metanol, CO, dan oksigen (O₂) untuk menghasilkan DMC. Semua reaktan dialirkan ke reaktor karbonilasi pada tekanan sekitar 20 atm dan temperatur 150°C dengan katalis berbasis CuCl. Konversi reaktor yaitu 60-80%. Mekanisme yang terjadi melibatkan siklus redoks Cu⁺/Cu²⁺, di mana CuCl pertama kali teroksidasi oleh oksigen membentuk *intermediate* aktif Cu(OCH₃)Cl yang kemudian bereaksi dengan CO menghasilkan produk DMC sekaligus meregenerasi kembali CuCl sebagai katalis. Secara stoikiometri, reaksi dapat dinyatakan sebagai berikut:



Produk keluar dari reaktor berupa campuran DMC, metanol yang tidak bereaksi, dan air hasil reaksi. Tahap pascareaksi ini menjadi salah satu bagian paling kritis dalam keseluruhan proses karena sistem membentuk dua jenis azeotrop, yaitu azeotrop DMC–metanol dan azeotrop DMC–air, sehingga proses pemisahan memerlukan teknik distilasi bertingkat untuk memperoleh kemurnian produk sesuai spesifikasi pasar (Huang dkk., 2021). *Flowsheet* dasar dari proses *Oxidative Carbonylation* dapat dilihat pada Gambar 1.4 sebagai berikut:



Gambar 1.4 Flowsheet Dasar dari Proses *Oxidative Carbonylation* (Huang dkk., 2021)

a. Uji Ekonomi Awal Proses *Oxidative Carbonylation*

Uji ekonomi awal untuk proses *oxidative carbonylation* ditunjukkan pada Tabel 1.8 sebagai berikut.

Tabel 1.8 Uji Ekonomi Awal Proses *Oxidative Carbonylation*

Bahan baku yang digunakan	Berat Molekul (kg/kmol)	Harga (Rp/Kg)
Bahan Baku:		
1. Metanol	32,04	4.840
2. Karbon Monoksida	28	10.290
3. Oksigen	32	2.500
Produk:		
1. Dimetil Karbonat	90,08	10.160
2. Air	18	0

Sumber: (ChemAnalyst, 2026; Imarc, 2026)

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

Rx:

PE = Biaya Produk – Biaya Bahan Baku

PE = [(Mol × BM Dimetil Karbonat × Harga) + (Mol × BM Air × Harga)] – [(Mol × BM Metanol × Harga) + (Mol × BM Karbon Monoksida × Harga) + (Mol × BM Air × Harga)]

$$\begin{aligned} PE &= [(1 \times 90,08 \times \text{Rp. } 10.160) + (1 \times 18 \times \text{Rp. } 0)] - [(2 \times 32,04 \times \text{Rp. } 4.840) \\ &\quad + (1 \times 28 \times 10.290) + (\frac{1}{2} \times 32 \times \text{Rp. } 2.500)] \end{aligned}$$

$$PE = [\text{Rp. } 915.212] - [\text{Rp. } 310.147 + \text{Rp. } 288.120 + \text{Rp. } 40.000]$$

$$PE = (\text{Rp. } 915.212 - \text{Rp. } 638.267)$$

$$PE = \text{Rp. } 276.945$$

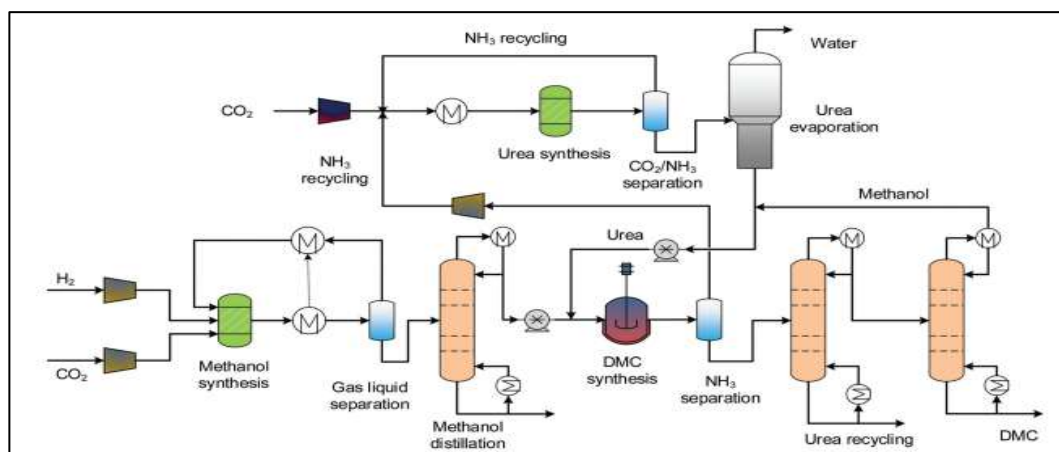
1.8.3 Proses *Direct Urea Methanolysis*

Proses ini memanfaatkan urea dan metanol sebagai bahan baku utama, di mana urea diperoleh melalui sintesis amonia dan karbon dioksida pada kondisi tekanan tinggi, sedangkan metanol dapat disuplai melalui sintesis hidrogenasi CO₂. Pada tahap awal proses, gas NH₃ dan CO₂ direaksikan pada tekanan sekitar 136,19 atm untuk membentuk urea melalui reaksi eksotermis. Produk dari reaksi sintesis urea kemudian mengalami tahap evaporasi pada tekanan rendah untuk mengeluarkan air dan amonia yang tersisa, sehingga urea berkonsentrasi tinggi dapat dilanjutkan sebagai bahan masuk reaktor DMC. Keberadaan amonia sisa *direcycle* kembali ke reaktor sintesis urea sehingga konsumsi bahan baku dapat diminimalkan dan efisiensi proses meningkat. Setelah itu, urea dicampurkan dengan metanol dalam jumlah besar dan dialirkan menuju reaktor metanolisis pada tekanan sekitar 12 atm dan temperatur 160°C dengan konversi reaktor yaitu 85-90% (Huang dkk., 2021). Pada kondisi tersebut, reaksi metanolisis urea berlangsung melalui dua tahap berturut-turut sebagaimana dilaporkan oleh Vázquez, dkk (2018), yang dinyatakan melalui reaksi berikut:



Reaksi inti dari proses ini berlangsung dalam dua tahap kimia berturutan, namun keduanya terjadi langsung di dalam satu reaktor tanpa pemisahan *intermediate*. Tahap pertama adalah pembentukan senyawa antara berupa metil karbamat (MC) melalui reaksi antara urea dan metanol, proses yang berlangsung sangat cepat dan menghasilkan konversi tinggi. Selanjutnya, MC bereaksi kembali dengan metanol melalui reaksi transesterifikasi membentuk dimetil karbonat (DMC) dan amonia (NH₃) sebagai produk samping. Tahap kedua inilah yang

menjadi penentu laju reaksi keseluruhan karena konversinya lebih lambat. Untuk mendukung reaksi agar berlangsung optimum, digunakan katalis heterogeny yaitu $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3$, yang terbukti mampu memfasilitasi pelepasan gugus $-\text{OCH}_3$ dari metanol ke karbamat, sehingga pembentukan DMC dapat berlangsung lebih efektif (Vázquez dkk., 2018). Namun demikian, proses ini memerlukan kelebihan metanol yang cukup signifikan untuk menggeser kesetimbangan reaksi ke arah pembentukan DMC, sehingga sistem *recycle* metanol menjadi sangat penting dalam mempertahankan efisiensi proses. *Flowsheet* dasar dari proses *Direct Urea Methanolysis* dapat dilihat pada Gambar 1.5 sebagai berikut:



Gambar 1.5 Flowsheet Dasar dari Proses *Direct Urea Methanolysis* (Huang dkk., 2021)

a. Uji Ekonomi Awal Proses *Direct Urea Methanolysis*

Uji ekonomi awal untuk proses *direct urea methanolysis* ditunjukkan pada Tabel 1.9 berikut.

Tabel 1.9 Uji Ekonomi Awal Proses *Direct Urea Methanolysis*

Bahan baku yang digunakan	Berat Molekul (g/mol)	Harga (Rp/Kg)
Bahan Baku:		
1. Urea	60,06	7.360
2. Metanol	32,04	4.840
Produk:		
1. Dimetil Karbonat	90,08	10.160
2. Amonia	17,03	6.910

Sumber: (ChemAnalyst, 2026)

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

Rx:

PE = Biaya Produk – Biaya Bahan Baku

PE = [(Mol × BM Dimetil Karbonat × Harga) + (Mol × BM Amonia x Harga)]
– [(Mol × BM Urea × Harga) + (Mol × BM Metanol × Harga)]

PE = [(1 × 90,08 × Rp. 10.160) + (1 × 17,03 × Rp. 6.910)] – [(1 × 60,06 × Rp. 7.360) + (1 × 32,04 × 4.840)]

PE = [Rp. 915.212 + 117.677] – [Rp. 442.042 + Rp. 155.074]

PE = (Rp. 1.032.889 – Rp. 597.116)

PE = Rp. 435.773

Dari 3 macam proses pembuatan Dimetil Karbonat diatas, dapat dilakukan perbandingan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.10 berikut.

Tabel 1.10 Perbandingan Macam-Macam Proses Pembuatan Dimetil Karbonat

Parameter	Proses <i>Direct Carbonation</i>	Proses <i>Direct Urea Methanolysis</i>	Proses <i>Oxidative Carbonylation</i>
Bahan Baku	Metanol, CO ₂	Urea, Metanol	Metanol, CO, O ₂
Suhu	120 °C	160 °C	150 °C
Tekanan	29,61 atm	12 atm	20 atm
Konversi	96%	60-80%	85-90%
Hasil Samping	H ₂ O	NH ₃	H ₂ O
Katalis	CeO ₂	ZnO – Al ₂ O ₃	Ni-Al ₂ O ₃
PE (Perhitungan Ekonomi)	Rp. 467.346	Rp. 435.773	Rp. 276.945

Sumber : (Huang dkk., 2021; Ohno dkk., 2021; Vázquez dkk., 2018)

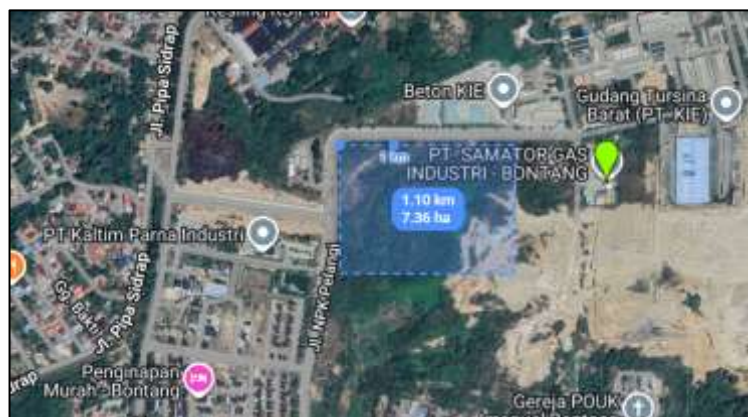
Dengan melihat perbandingan ketiga proses diatas, maka pada Prarancangan Pabrik Dimetil Karbonat ini dipilih proses *Direct Carbonation* dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Suhu operasi proses relatif rendah yaitu sebesar 120 °C sehingga kebutuhan energi pemanasan lebih kecil dan lebih menguntungkan dari sisi operasional.

2. Konversi produk yang dihasilkan tinggi yaitu sebesar 96% sehingga meningkatkan jumlah dimetil karbonat yang terbentuk dan memperbaiki efisiensi proses.
3. Bahan baku yang digunakan terdiri dari metanol dan karbon dioksida yang mudah diperoleh serta lebih sederhana dalam penanganannya.
4. Produk samping yang dihasilkan berupa H_2O lebih mudah dipisahkan dan tidak memerlukan penanganan khusus.
5. Penggunaan katalis CeO_2 dengan pertimbangan ekonomi sebesar Rp 467.346 mampu menghasilkan konversi yang tinggi serta mendukung kelayakan proses secara teknis dan ekonomis.

1.9 Pemilihan Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik merupakan salah satu yang paling penting dalam pendirian suatu pabrik untuk kelangsungan operasi pabrik. Banyak pertimbangan yang menjadi dasar dalam menentukan lokasi pabrik, misalnya kemudahan dalam pengoperasian pabrik dan perencanaan di masa depan, letak pabrik dengan sumber bahan baku dan bahan pembantu, letak pabrik dengan pasar penunjang, transportasi, tenaga kerja, kondisi sosial dan lain-lain. Pemilihan lokasi adalah hal yang sangat penting dalam perancangan pabrik, karena hal ini berhubungan langsung dengan nilai ekonomis pabrik yang akan didirikan harus menguntungkan. Oleh karena itu pemilihan dan penentuan lokasi pabrik yang tepat merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam suatu perencanaan pabrik. Berdasarkan pertimbangan diatas, pabrik Dimetil Karbonat (DMC) ini direncanakan akan didirikan di kota Bontang, Provinsi Kalimantan Timur dengan luas keseluruhan yaitu 76.300 m^2 . Gambar Peta Lokasi pabrik ditunjukkan pada Gambar 1.6 sebagai berikut:



Gambar 1.6 Peta Lokasi Pabrik Dimetil Karbonat

Kota Bontang dipilih sebagai lokasi pabrik berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

1.9.1 Sumber Bahan Baku

Bahan baku pembuatan Dimetil Karbonat (DMC) yaitu Metanol dan Karbon Dioksida. Penyediaan bahan baku Metanol (CH_3OH) diperoleh dari PT. Kaltim Methanol Industri (KMI) yang berkapasitas 660.000 ton/tahun. Sedangkan untuk Karbon Dioksida (CO_2) diperoleh dari PT. Samator Gas Industri Bontang. Lokasi pabrik dipilih sedekat mungkin dengan sumber bahan baku untuk menjamin ketersediaan dan efisiensi biaya pengiriman bahan baku ke pabrik DMC.

1.9.2 Pemasaran Produk

Pabrik Dimetil Karbonat (DMC) direncanakan berlokasi di Kota Bontang, Provinsi Kalimantan Timur, yang merupakan salah satu kawasan industri strategis di Indonesia bagian timur. Produk DMC yang dihasilkan dapat dipasarkan untuk memenuhi kebutuhan industri kimia hilir seperti industri polikarbonat, pelarut ramah lingkungan, elektrolit baterai, serta industri kimia lainnya yang membutuhkan agen karbonilasi dan metilasi. Letak Kota Bontang yang berada di kawasan industri petrokimia dan kimia dasar memberikan keuntungan tersendiri karena dekat dengan pusat-pusat industri yang berpotensi menjadi konsumen utama produk DMC. Lokasi pemasaran yang akan dijangkau akan berpengaruh pada biaya distribusi produk. Rencananya produk DMC utamanya akan dijual ke PT. Pertamina Refinery Unit V Balikpapan sebagai *octane booster*.

Selain untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, lokasi pabrik yang relatif dekat dengan jalur pelayaran internasional di wilayah Kalimantan Timur juga mendukung kegiatan ekspor. Keberadaan pelabuhan laut di sekitar kawasan industri Bontang memungkinkan distribusi produk DMC ke pasar internasional, khususnya kawasan Asia Timur dan Asia Tenggara, sehingga peluang pemasaran produk menjadi lebih luas dan kompetitif.

1.9.3 Transportasi

Pembelian bahan baku dan pendistribusian produk dimetil karbonat (DMC) pada pabrik ini direncanakan menggunakan kombinasi transportasi darat dan laut yang terintegrasi. Bahan baku metanol yang diperoleh dari PT. Kaltim Methanol Industri (KMI) di Bontang diangkut menggunakan truk tangki (*tank truck*) karena metanol berada dalam fase cair dan memerlukan sistem penyimpanan tertutup untuk mencegah penguapan serta menjaga keselamatan selama pengangkutan. Penggunaan truk tangki juga memberikan fleksibilitas dalam pengiriman jarak dekat dari sumber bahan baku ke lokasi pabrik.

Bahan baku karbon dioksida (CO₂) yang berasal dari PT Samator Gas Industri didistribusikan melalui pipa (*pipeline*). Penggunaan *pipeline* dipilih karena CO₂ berada dalam fase gas bertekanan sehingga lebih efisien dan aman jika dialirkan secara kontinu tanpa perlu proses *loading-unloading* berulang. Selain itu, sistem *pipeline* mampu mengurangi kehilangan tekanan, meminimalkan risiko kebocoran, serta lebih ekonomis untuk suplai dalam jumlah besar dan berkelanjutan.

Untuk transportasi darat, lokasi pabrik di Kota Bontang didukung oleh jaringan jalan utama seperti Jalan Raya Bontang–Samarinda dan Jalan MT Haryono yang menghubungkan kawasan industri dengan pelabuhan serta wilayah distribusi lainnya. Infrastruktur jalan ini memadai untuk dilalui kendaraan berat seperti truk tangki dan kendaraan logistik lainnya sehingga distribusi bahan baku dan produk dapat berjalan lancar.

Dari sisi transportasi laut, kegiatan distribusi produk DMC ke luar daerah maupun ekspor didukung oleh keberadaan pelabuhan seperti Pelabuhan Loktuan Bontang dan Pelabuhan Kaltim Industrial Estate (KIE). Pelabuhan ini memiliki

fasilitas bongkar muat bahan kimia cair dalam jumlah besar serta akses langsung ke jalur pelayaran internasional. Dengan dukungan transportasi darat dan laut yang memadai, sistem logistik pabrik dapat berjalan secara efisien, aman, dan berkelanjutan tanpa menjadi hambatan dalam operasional produksi.

1.9.4 Tenaga Kerja

Kota Bontang sebagai lokasi pendirian pabrik merupakan salah satu kawasan industri utama di Provinsi Kalimantan Timur yang memiliki ketersediaan tenaga kerja yang cukup memadai. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) 2025, jumlah penduduk Kota Bontang berada pada kisaran ± 180.000 jiwa, dengan komposisi usia produktif yang cukup dominan. Dari jumlah tersebut, sekitar ± 130.000 jiwa termasuk dalam kategori angkatan kerja.

Dari total angkatan kerja tersebut, sebagian besar telah terserap dalam berbagai sektor industri, terutama industri petrokimia, pupuk, dan energi yang telah berkembang di wilayah Bontang. Tingkat partisipasi angkatan kerja (TPAK) berada pada kisaran 65–70%, dengan tingkat pengangguran terbuka sekitar 5–6%, yang menunjukkan masih tersedianya tenaga kerja yang dapat diserap oleh industri baru. Selain itu, tenaga kerja terdidik (lulusan SMA/SMK hingga perguruan tinggi) cukup dominan, terutama karena adanya institusi pendidikan dan pelatihan vokasi di wilayah Kalimantan Timur.

Kebutuhan tenaga kerja pada pabrik dimetil karbonat ini meliputi tenaga kerja teknik (*engineer*), operator proses, tenaga administrasi, serta tenaga pendukung lainnya. Tenaga kerja tersebut dapat dipenuhi dari Kota Bontang dan daerah sekitarnya seperti Samarinda dan Balikpapan. Apabila diperlukan tenaga kerja dengan keahlian khusus, perekrutan juga dapat dilakukan dari luar daerah. Dengan ketersediaan tenaga kerja yang cukup baik dari segi jumlah maupun kualitas, operasional pabrik diharapkan dapat berjalan secara optimal dan berkesinambungan.

1.9.5 Utilitas

Utilitas merupakan faktor penunjang utama dalam keberlangsungan operasi pabrik. Kebutuhan energi listrik pada pabrik dimetil karbonat ini dipenuhi dari jaringan PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Kalimantan Timur dan

Kalimantan Utara yang telah melayani kawasan industri di Kota Bontang. Untuk menjamin kontinuitas operasi, pabrik juga dilengkapi dengan generator diesel sebagai sumber listrik cadangan apabila terjadi gangguan pada pasokan listrik utama. Bahan bakar untuk generator diperoleh dari PT Pertamina yang memiliki jaringan distribusi yang baik di wilayah Kalimantan Timur.

Kebutuhan air untuk proses produksi, pendinginan, pembangkitan steam, serta kebutuhan domestik pabrik diperoleh dari sumber air di sekitar wilayah Bontang, khususnya dari Sungai Mahakam dan sistem penyediaan air industri setempat. Sungai Mahakam merupakan salah satu sungai terbesar di Indonesia dengan panjang sekitar 920 km dan debit air rata-rata berkisar 1.500–3.000 m³/s, sehingga memiliki kapasitas yang sangat mencukupi untuk memenuhi kebutuhan industri dalam skala besar. Dengan kapasitas debit yang besar dan ketersediaan air yang kontinu sepanjang tahun, Sungai Mahakam mampu memenuhi kebutuhan air proses pabrik secara berkelanjutan. Selain itu, air yang diambil akan diolah terlebih dahulu dalam unit pengolahan air (*water treatment plant*) untuk memastikan kualitas air sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dalam proses produksi maupun utilitas lainnya.

Dengan tersedianya sumber energi listrik yang stabil serta pasokan air yang melimpah dan berkelanjutan, kebutuhan utilitas pabrik dapat terpenuhi secara optimal sehingga mendukung kelancaran dan efisiensi proses produksi dimetil karbonat.

1.10 Uraian Proses Terpilih

Berikut ini merupakan uraian proses terpilih dari Prarancangan Pabrik Dimetil Karbonat dengan Proses *Direct Carbonation* yang terdiri dari tiga tahap yaitu:

1.10.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Metanol sebagai bahan baku utama disimpan di dalam tangki penyimpanan metanol (**T-001 *Methanol Tank***) pada kondisi suhu 30°C dan tekanan 1. Dari tangki penyimpanan, metanol dialirkan menuju **pompa sentrifugal multistage (P-001)** yang beroperasi pada tekanan masuk 1 atm untuk menaikkan tekanannya

hingga mencapai tekanan operasi reaktor sebesar 29,61 atm. Setelah tekanan dinaikkan, aliran metanol bertekanan tinggi tersebut selanjutnya dipanaskan di dalam **heat exchanger (HE-001)** yang memanfaatkan panas dari aliran gas CO₂ panas hasil kompresi sebagai media pemanas (*hot side*). Pada alat ini, metanol dipanaskan hingga mencapai temperatur sekitar 120°C sebelum diumpankan ke dalam reaktor. Penggunaan heat exchanger ini menerapkan prinsip integrasi panas (*heat integration*) yang bertujuan untuk memanfaatkan energi dari aliran proses secara optimal, sehingga kebutuhan utilitas pemanas eksternal dapat diminimalkan dan efisiensi energi keseluruhan proses meningkat secara signifikan.

Karbon dioksida (CO₂) dengan suhu 119,9°C dan tekanan 1 atm dialirkan menuju **kompresor (K-001)** yang beroperasi pada tekanan masuk 1 atm untuk dinaikkan tekanannya menjadi sekitar 29,61 atm. Proses kompresi berlangsung hampir adiabatik sehingga temperatur gas CO₂ meningkat secara signifikan hingga mencapai 563,5°C akibat efek panas kompresi (*heat of compression*). Panas yang dikandung aliran CO₂ bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi ini selanjutnya dimanfaatkan pada **heat exchanger (HE-001)** untuk memanaskan aliran metanol, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Setelah melepaskan panasnya di HE-001, aliran CO₂ masih berada pada temperatur yang cukup tinggi sehingga perlu didinginkan lebih lanjut menggunakan **cooler (E-001)** hingga mencapai temperatur 120°C, sebelum akhirnya bergabung dengan aliran metanol dan diumpankan bersama ke dalam reaktor pada tekanan operasi 29,61 atm.

1.10.2 Tahap Reaksi Pembentukan Dimetil Karbonat

Tahap reaksi berlangsung di dalam reaktor tipe *Plug Flow Reactor* (PFR-001) yang dirancang untuk menghasilkan konversi reaksi yang tinggi dengan distribusi aliran yang merata sepanjang reaktor. Reaktan yang telah dipersiapkan diumpankan ke dalam reaktor pada kondisi operasi yang telah disesuaikan, yaitu pada tekanan sekitar 29,61 atm serta temperatur operasi berkisar antara 120°C. Reaksi utama yang terjadi di dalam reaktor adalah reaksi antara metanol dan karbon dioksida yang menghasilkan dimetil karbonat dan air sebagai produk samping, yang dapat dituliskan sebagai berikut:



Reaksi ini berlangsung dengan bantuan katalis berbasis cerium oksida (CeO_2) yang berfungsi meningkatkan laju reaksi melalui aktivasi molekul CO_2 . Produk keluaran reaktor berupa campuran dimetil karbonat, metanol yang tidak bereaksi, karbon dioksida sisa, serta air. Aliran keluaran reaktor kemudian dialirkan menuju Valve (V-001) untuk menurunkan tekanan menjadi 10 atm sebelum memasuki tahap pemisahan, sehingga kondisi aliran lebih sesuai untuk proses pemurnian selanjutnya.

1.10.3 Tahap Pemurnian Produk (Purifikasi)

Aliran keluaran reaktor yang telah diturunkan tekanannya selanjutnya dimasukkan ke dalam **separator (S-001)** yang beroperasi pada tekanan 10 atm dan suhu $24,86^\circ\text{C}$. Di dalam separator ini, dilakukan pemisahan antara fase gas dan fase cair berdasarkan perbedaan densitas. Fase gas yang sebagian besar mengandung karbon dioksida yang tidak bereaksi dipisahkan dari bagian atas separator. Fase gas yang keluar dari bagian atas separator mengandung karbon dioksida dan tidak di-*recycle* kembali ke reaktor karena beberapa pertimbangan teknis dan ekonomis. Jumlah CO_2 yang tidak bereaksi hanya sekitar 4% (504,146 kg/jam) dari total umpan, sehingga tidak ekonomis untuk dipulihkan, selain itu fase gas keluaran separator masih mengandung uap metanol dan DMC yang ikut terbawa sehingga memerlukan unit pemurnian tambahan sebelum dapat di-*recycle* hal ini akan meningkatkan kompleksitas peralatan dan biaya investasi secara signifikan. Dari aspek lingkungan, pelepasan CO_2 melalui *vent stack* ini telah sesuai regulasi karena berdasarkan Lampiran VII Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, CO_2 tidak termasuk dalam parameter baku mutu udara ambien yang dibatasi konsentrasinya di Indonesia, sehingga pelepasannya ke atmosfer tidak melanggar ketentuan lingkungan hidup yang berlaku.

Fase cair yang mengandung campuran dimetil karbonat, metanol sisa, dan air dialirkan menuju unit distilasi untuk pemurnian lebih lanjut. Fase cair keluaran separator dialirkan menuju ke Valve (V-002) untuk diturunkan tekanannya menjadi

1 atm. Kemudian aliran keluaran dari valve akan dipanaskan menggunakan Heater (H-001) untuk menaikkan suhunya menjadi 70 °C untuk menyesuaikan kondisi aliran pada proses pemurnian selanjutnya.

Fase cair dari separator dialirkan menuju **kolom distilasi pertama (D-001)** yang beroperasi pada tekanan 10 atm dengan suhu 70 °C. Pada kolom distilasi pertama ini, metanol dipisahkan dari campuran berdasarkan perbedaan titik didihnya yang lebih rendah dibandingkan komponen lainnya. Produk atas (*distillate*) kolom berupa metanol dengan kemurnian tinggi yang kemudian dikondensasikan dan dialirkan menuju **tangki penyimpanan metanol (T-002 Methanol Tank)** pada kondisi suhu vessel 30°C dan tekanan vessel 1 atm. Produk atas kolom distilasi pertama berupa metanol dengan kemurnian 96% tidak di-*recycle* kembali ke reaktor karena untuk dapat digunakan kembali sebagai umpan reaktor, metanol tersebut harus dimurnikan lebih lanjut terlebih dahulu agar tidak mengganggu kinerja katalis CeO₂, hal ini memerlukan unit pemurnian tambahan yang akan meningkatkan kompleksitas peralatan dan biaya investasi secara signifikan. Sebagai alternatif yang lebih ekonomis, metanol 96% ini dijual sebagai produk samping kepada PT Propan Raya ICC yang menggunakannya sebagai pelarut dalam produksi cat dan *thinner*, mengingat industri cat dan pelapisan umumnya menerima metanol teknis dengan kemurnian minimal 95%. Strategi ini tidak hanya menghindari penambahan peralatan yang tidak diperlukan, tetapi juga menghasilkan pendapatan tambahan yang berkontribusi positif terhadap keekonomian pabrik. Produk bawah (*bottoms*) kolom berupa campuran dimetil karbonat dan air dialirkan menuju kolom distilasi kedua untuk pemisahan lanjutan.

Pada kolom distilasi kedua (D-002), dilakukan pemisahan lanjutan antara dimetil karbonat dan air. Produk atas kolom berupa dimetil karbonat dengan kemurnian tinggi, sedangkan produk bawah berupa air sebagai produk samping. Produk dimetil karbonat dinaikkan tekananya menggunakan Pompa (P-002) menjadi 1 atm dan kemudian dipanaskan menggunakan *Heater* (H-003) hingga mencapai temperatur sekitar 30°C, lalu dialirkan menuju tangki penyimpanan produk (T-003) pada tekanan 1 atm.