

Pra Desain Pabrik Dietil Karbonat dari CO₂, Etanol, dan Etilen Oksida

Ayyub Choirul Annas, Anisa Fatma Aulia, Annas Wiguno, dan Kuswandi
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: annas.w@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Bahan bakar fosil merupakan salah satu energi yang kebutuhannya terus meningkat setiap tahun. Kebutuhan bahan bakar minyak mengikuti perkembangan sektor pembangunan khususnya sektor transportasi dan industri yang saat ini semakin pesat. Tidak dipungkiri bahwa konsumsi bahan bakar fosil mempunyai dampak kepada lingkungan akibat emisi gas buang yang dihasilkan, salah satu akibat dari emisi gas buang tersebut adalah efek rumah kaca. Salah satu upaya untuk mengurangi emisi yang dihasilkan dari konsumsi bahan bakar tersebut adalah dengan penambahan zat aditif, salah satunya adalah DEC (*Diethyl Carbonate*). Pada penelitian ini dilakukan perancangan pabrik dietil karbonat (DEC) dari gas karbon dioksida (CO₂), etanol, dan etilen oksida dengan kapasitas produksi sebesar 220.000 ton per tahun. Selain DEC, pabrik tersebut juga memiliki *by-product* yang mempunyai nilai jual yaitu etilen glikol dengan kapasitas 130.000 ton per tahun, etilen karbonat dengan kapasitas 1.000.000 ton per tahun, dan *cellosolve* dengan kapasitas 13.000 ton per tahun. Perancangan pabrik ini dimaksudkan untuk memenuhi 50% kebutuhan zat aditif gasolin yang diperkirakan akan meningkat sebesar 423.496 ton pada tahun 2023, dengan catatan penambahan zat aditif (DEC) pada gasolin mencapai performa optimum pada pencampuran sebesar 10% DEC. Direncanakan pabrik DEC ini akan didirikan di Kabupaten Bontang, Kalimantan Timur, dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku CO₂ yang didapat dari gas buang pabrik PT. Badak NGL dan etanol yang dibeli dari PT. Celanese yang terletak dekat dengan pabrik DEC yang akan didirikan. Dalam proses pembuatan DEC tersebut, terdapat empat unit proses utama: *Pre-Treatment*, Sintesis, Separasi, dan Pemurnian Produk. Dari perhitungan analisa ekonomi, didapatkan IRR sebesar 35 % per tahun, POT selama 4,75 tahun, dan BEP sebesar 32%. Dengan investasi berasal dari modal sendiri sebesar 20% dan pinjaman sebesar 80% dengan total investasi senilai Rp 1.161.779.753.500. Secara keseluruhan dari segi teknis dan ekonomis, pabrik DEC dari CO₂, etanol, dan etilen oksida layak untuk didirikan.

Kata Kunci—CO₂, DEC, Energi, Etanol, Etilen Oksida

I. PENDAHULUAN

ENERGI merupakan salah satu hal penting yang mempengaruhi perkembangan pertumbuhan negara. Bahan bakar minyak berbasis energi fosil merupakan salah satu energi yang kebutuhannya terus meningkat dari tahun ke tahun. Kebutuhan bahan bakar minyak mengikuti perkembangan sektor pembangunan khususnya sektor transportasi dan industri yang saat ini semakin pesat. Pada sektor transportasi, pertumbuhan jumlah kendaraan menjadi faktor utama peningkatan kebutuhan manusia akan bahan bakar minyak. Pada tahun 2015, konsumsi BBM non subsidi sebesar 44,5 juta kilo liter (KL). Tercatat pada tahun 2016, konsumsi BBM non subsidi sebesar 48,7 juta kilo liter (KL). Pada tahun selanjutnya, 2017, konsumsi BBM non subsidi masih mengalami peningkatan yaitu sebesar 55,9 juta KL. Namun, pada tahun 2018 konsumsi BBM non subsidi turun

Tabel 1.
Perbandingan Komponen MTBE dan DEC

Parameter	Komponen	
	MTBE	DEC
Oksigen (Brian, 2001)	18,2%	40,6%
Gasoline / Water Distribution Coefficient (Pacheco dan Marshall, 1996)	18	~20
RON dengan 10% (Pacheco dan Marshall, 1996) dan (Halim dan Ali, 2004)	117	111
MON dengan 10% (Pacheco dan Marshall, 1996) dan (Halim dan Ali, 2004)	101	96
Lower Heating Value (Pacheco dan Marshall, 1996)	74,3 Mbtu/gal	93,4 Mbtu/gal

tipis dibandingkan pada tahun 2017, untuk jenis RON 88 ke atas adalah sebanyak 55,2 juta kilo liter (KL). Tercatat bahwa konsumsi bahan bakar minyak (BBM) sepanjang tahun 2018 sebesar 75 juta kilo liter [1].

Dalam peningkatan konsumsi bahan bakar minyak baik dari sektor transportasi maupun industri, dampak penggunaan bahan bakar minyak menimbulkan pencemaran udara dan pemanasan global. Salah satu emisi gas buang hasil dari pembakaran pada industri yaitu berupa CO₂, yang berkontribusi menimbulkan efek rumah kaca. Efek rumah kaca ini menimbulkan pemanasan global pada bumi yang mengakibatkan iklim yang tidak stabil sehingga pada akhirnya akan menyebabkan bencana alam di berbagai wilayah dunia. Kadar CO₂ telah mencapai 415 per juta bagian (ppm). Pada tahun 2017 lalu, tingkat CO₂ mencapai 410 ppm. Gas CO₂ di bumi semakin bertambah setiap tahunnya. Hal ini sangat menyumbang faktor terjadinya pemanasan global.

Salah satu upaya untuk mengurangi emisi yang dihasilkan dari konsumsi bahan bakar tersebut adalah dengan penambahan zat aditif pada bahan bakar minyak. Zat aditif yang pernah digunakan yaitu Tetraethyl lead (TEL) dan Tetramethyl lead (TML). Kedua zat aditif ini digunakan untuk meningkatkan nilai oktan bahan bakar bensin. Namun, karena kandungan logam Pb (timbal) yang menimbulkan emisi berbahaya dan beracun. Dikarenakan dampak yang ditimbulkan oleh penggunaan zat aditif yang mengandung logam Pb maka telah diberlakukan peraturan penghapusan penambahan timbal pada bensin. Dengan tidak diperbolehkannya penggunaan zat aditif yang mengandung timbal, maka aditif yang lazim digunakan merupakan senyawa oxygenate. Senyawa *oxygenate* merupakan suatu senyawa organik cair yang dapat meningkatkan kandungan oksigen apabila dicampurkan dengan bahan bakar. Penambahan senyawa *oxygenate* dapat meningkatkan RON dan mengurangi polusi akibat dari proses pembakaran bahan bakar karena dapat menyebabkan pembakaran lebih sempurna dengan hadirnya oksigen. Senyawa *oxygenate*

yang banyak digunakan sebagai aditif ialah tertiary alkil ether, seperti methyl-tertiary-butyl ether (MTBE), dan juga senyawa alkohol yang mana memiliki kelemahan yaitu memiliki kelarutan yang tinggi dalam air. Hal ini dapat membuat proses separasi akan sulit. Selain itu senyawa alkohol juga dapat menyumbat aliran dari bahan bakar apabila tekanan uapnya tinggi. Hal ini dapat menyebabkan *vapor lock* yang dapat mengganggu pengoperasian pompa bahan bakar sehingga menyebabkan hilangnya tekanan umpan ke karburator. Etanol memiliki *heating value* lebih rendah dibandingkan dengan bensin [2].

Aditif yang selanjutnya adalah *Diethyl carbonate* (DEC). DEC merupakan salah satu senyawa oxygenate yang menjadi alternatif zat aditif pada bahan bakar. DEC tersebut juga merupakan komponen komersial penting yang juga biasa disebut dengan Ethyl Carbonate atau Carbonic Acid Diethyl Ester. DEC adalah liquid tidak berwarna pada keadaan normal, zat kimia yang stabil, dengan titik didih 126 – 128 °C, dan densitas sebesar 0.975 (g/cm³). Selain itu, DEC mempunyai kandungan oksigen yang lebih tinggi (40,6 wt%) dibandingkan dengan MTBE (18,2 wt%). Berdasarkan penelitian, DEC sebanyak 5 wt % dapat mengurangi materi partikulat pada mesin diesel sebanyak 50%. Sehingga penggunaan DEC mempunyai potensi tinggi dalam aspek ekonomi dan lingkungan. Lebih jauh lagi, DEC dapat diaplikasikan, sebagai solven dari polyamide, polyacrylonitril dan diphenol resin in the dalam industri serat sintesis, sebagai solven dari *cellulose ether*, resin alami dan sintesis dalam industri percetakan tekstil dan pengecatan, sebagai *paint remover* dan dipakai secara luas sebagai elektrolit dalam baterai ion lithium.

Dibandingkan dengan Methyl tertier-buthyl ether (MTBE), DEC lebih baik digunakan sebagai senyawa penambah oksigen pada gasoline. DEC merupakan salah satu senyawa yang paling berpotensi digunakan sebagai substitusi MTBE. Penggunaan MTBE juga dilarang penggunaannya karena dapat mencemari air tanah dan pada konsentrasi tinggi bersifat karsinogenik. Perbandingan komponen MTBE dan DEC dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa DEC memiliki oksigen yang lebih tinggi sehingga dapat dilihat bahwa proses pembakaran dari DEC akan lebih sempurna daripada MTBE, demikian pula emisi CO dan senyawa hidrokarbon akan menurun secara signifikan. Dari segi koefisien distribusi gasoline/ water, dapat dilihat bahwa ketika DEC ditambahkan ke bahan bakar maka akan mudah tercampur sehingga tidak akan membentuk dua fasa. Dilihat dari segi heating value, RON dan juga MON terlihat bahwa MTBE merupakan senyawa aditif yang lebih baik jika dibandingkan dengan DEC, tetapi hal yang harus dikonsiderasi pada MTBE, yaitu toxicity dan juga dampaknya pada lingkungan. Selain itu, diketahui bahwa penambahan DEC pada bahan bakar diesel sebesar 10% dapat mengurangi jumlah partikulat hingga sebanyak 50% [3]. Kelebihan DEC yang penting juga adalah DEC akan sangat lambat terdekomposisi menjadi CO₂ dan ethanol, tanpa menjadi polutan ketika dibuang ke lingkungan.

II. URAIAN PROSES

Sintesis Dietil Karbonat pada prinsipnya adalah suatu proses pembuatan senyawa Dietil Karbonat (DEC) melalui

Tabel 2.
Komposisi Flue Gas PT Badak NGL

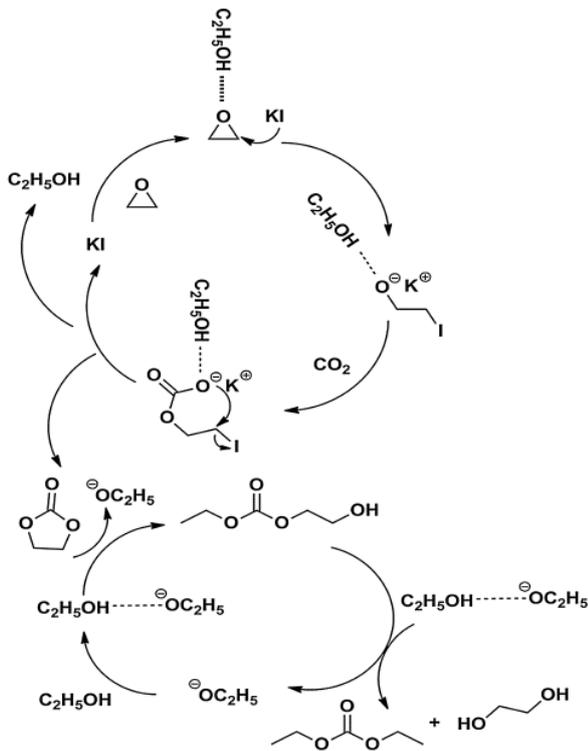
Komponen	BM	Fraksi Mol	Molar Flow (kmol/jam)
CO ₂	44,010	0,939	1.979,486
Metana	16,040	0,003	6,009
Etana	30,070	0,000	0,569
Propana	44,100	0,000	0,337
n-Butana	58,120	0,000	0,084
i-Butana	58,120	0,000	0,032
Pentana	72,150	0,000	0,032
C ₆₊	86,180	0,000	0,063
H ₂ O	18,020	0,058	121,915
Total		1,000	2.108,528

reaksi dari dua atau lebih senyawa melalui kondisi – kondisi tertentu dari proses tersebut. Ada beberapa proses dan metode pemisahan karbon dioksida. Proses – proses tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Berdasarkan seleksi proses yang telah dilakukan, dipilih proses *direct synthesis of Diethyl Carbonate from carbon dioxide, epoxides, and ethanol* dengan menggunakan katalis KI-EtONa karena merupakan proses yang tidak beracun (*non-toxic*) serta dapat menghasilkan konversi yang relatif tinggi di antara semua sintesis lainnya [3]–[8].

Secara garis besar, proses produksi dietil karbonat dari CO₂, etanol, dan *epoxide* terbagi dalam beberapa tahapan dimana *epoxide* yang digunakan dalam proses ini adalah etilen oksida. Bahan baku CO₂ yang digunakan berasal dari *flue gas* PT. Badak NGL dengan kandungan terbesar adalah CO₂ sebesar ± 94%. Bahan baku *flue gas* yang digunakan memiliki komposisi bahan baku seperti tertera pada Tabel 2.

Proses produksi dietil karbonat yang dipilih ini terdiri dari beberapa tahapan unit proses, yaitu unit *pre-treatment*, unit sintesis, unit separasi, dan unit purifikasi. Dari masing – masing tahapan proses tersebut, tersusun dari unit operasi yang berbeda sesuai dengan fungsi dari unit tersebut.

Unit *Pre-treatment* adalah unit yang berfungsi untuk mengolah bahan baku *flue gas* dari PT. Badak NGL untuk kemudian diambil komponen CO₂ dengan tujuan menghilangkan pengotor yang lainnya. Kadar H₂O yang ada pada *flue gas* PT. Badak NGL sebesar 6%, dengan demikian diperlukan proses pemisahan dan tahap awal *flue gas* dialirkan ke kompressor (G-112) untuk meningkatkan tekanan aliran gas dari tekanan atmosferik hingga tekanan 30,2 bar, penaikan tekanan ini berfungsi sebagai langkah pengkondisian *feed* sebelum memasuki reaktor. Selanjutnya, aliran didinginkan menggunakan *cooler* dengan tujuan agar membentuk aliran dua fasa untuk memisahkan komponen air / H₂O sebagai komponen kedua terbanyak di dalam *flue gas* dengan menggunakan *flash separator* (H-112) sehingga didapatkan kandungan CO₂ sebesar 99,4% dan H₂O yang masih terikut sebesar 0,22% yang mana aliran *top product* alat ini nantinya sudah dapat digunakan sebagai bahan baku sintesis DEC. Sedangkan *bottom product* proses pemisahan ini sebagian besar mengandung H₂O yang akan dialirkan menuju *waste water treatment*. Sedangkan aliran *top product* dipanaskan terlebih dahulu agar suhu aliran sesuai dengan kondisi operasi yang paling optimum untuk direaksikan dengan *feed* yang lain dan *feed* CO₂ diumpankan ke dalam reaktor dalam fasa gas. Sedangkan untuk *feed* etilen oksida yang disimpan dalam fasa likuida di dalam tangki penyimpanan selanjutnya dengan bantuan *valve* (K-111) dapat



Gambar 1. Pathway Reaksi Sintesis DEC dari Etanol dan CO₂ menggunakan ethylene oxide sebagai dehydrating agent.

mengubah fasa etilen oksida menjadi fasa gas yang kemudian dialirkan ke dalam kompresor (G-113) untuk menaikkan tekanan dari tekanan atmosferik menjadi 30,1 bar. Setelah pengkondisian tekanan *feed* etilen oksida, dilakukan pengaturan suhu agar sesuai dengan kondisi operasi untuk bereaksi di dalam reaktor didinginkan menggunakan *cooler* hingga suhunya 169,8°C dan siap diumpungkan ke dalam reaktor dalam fasa gas. Sedangkan untuk *feed* etanol, diperlukan alat pompa (L-115) setelah dicampur dengan etanol hasil *recycle* sisa reaksi dan dinaikkan suhunya menggunakan *heater* (E-115) dan dimasukkan ke dalam reaktor pada fasa likuida.

Unit Sintesis adalah unit yang berfungsi untuk mengolah bahan baku (etanol, CO₂, dan etilen oksida) menjadi produk melalui reaksi menggunakan reaktor. Reaktor yang digunakan adalah *trickle bed reactor* yang termasuk ke dalam tipe *packed bed continuous reactor* yang mana likuida mengalir di dalamnya melalui packing media. Reaktor ini dipilih karena *feed* fluida yang masuk ke dalam reaktor ada yang pada fasa likuida dan juga gas, serta memerlukan katalis sebagai packing media dalam fasa padat. Digunakan reaktor tipe tersebut karena terdapat katalis yang berbentuk solid yang membantu proses reaksi di dalam reaktor, selain itu juga terdapat CO₂ dan etilen oksida yang berfasa gas serta etanol yang berfasa liquid sebagai reaktan dalam proses sintesis DEC. Reaktor tipe ini lah yang dapat memberikan kinerja optimal untuk proses reaksi yang terdapat komponen tiga fasa di dalamnya. Etanol dengan suhu 169,8°C dan tekanan sebesar 30 bar dicampur dengan aliran etanol hasil *recycle* dari *separation unit* menggunakan mixer (M-117), yang kemudian dialirkan ke dalam reaktor. Sedangkan CO₂ dengan suhu 169,8°C dan tekanan 30 bar serta etilen oksida dengan kondisi operasi yang dikondisikan sama akan dimasukkan ke dalam reaktor (R-210). Berikut ini merupakan reaksi yang

Tabel 3. Spesifikasi dan Properti Produk Utama (DEC)

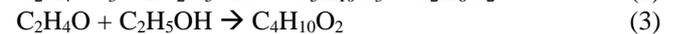
Karakteristik	Keterangan
Kemurnian (%)	99,96
Kandungan air (ppm)	<200
Cl ₂ (ppm)	0
Berat Molekul (g/mol)	118,13
Titik Didih (°C)	126 – 128
Titik Lebur (°C)	-43
Flash Point (°C)	25
Massa Jenis (g/cm ³)	0,975
Toxicology	Mildly toxic

Tabel 4.

Spesifikasi dan Properti Produk Samping (EG)

Karakteristik	Keterangan
Kemurnian (%)	99,51
Berat Molekul (g/mol)	62,07
Densitas (g/cm ³)	1,3120
Wujud	Cairan bening
Viskositas (N*S/m ²)	1,61 x 10 ⁻²
Kelarutan	Miscible

terjadi di dalam reaktor dengan kondisi operasi yang telah disebutkan sebelumnya.



Reaksi (1) merupakan reaksi *cycloaddition* dari etilen oksida dan karbon dioksida menghasilkan *intermediate product* berupa etilen karbonat (EC). Reaksi (2) merupakan reaksi *transesterifikasi* dari etilen karbonat dan etanol untuk menghasilkan DEC dan etilen glikol (EG). Sedangkan reaksi (3) merupakan reaksi *ethanolysis* yaitu etanol bereaksi dengan etilen oksida untuk menghasilkan *Cellosolve*. Adapun reaksi sintesis DEC tersebut bersifat eksotermis sehingga diperlukan suatu pendingin untuk menstabilkan temperatur di dalam reaktor dengan maksud menjaga optimalitas yield yang dihasilkan selama reaksi dan menjaga keamanan reaktor dari bahaya ledakan atau bahaya sejenisnya. Maka dari itu pemasangan jaket pendingin dilakukan demi menjaga stabilitas temperatur di dalam reaktor. Jaket pendingin disinyalir sangat tepat untuk digunakan pada *trickle bed reactor* karena tidak mengganggu kinerja katalis yang berada di dalam reaktor. Di dalam reaksi ini diperlukan katalis untuk meningkatkan yield dari DEC dan juga konversi dari bahan baku, digunakan katalis biner KI-EtONa. Katalis homogen biner, merupakan katalis yang efektif pada proses produksi DEC dengan disertai penambahan *epoxide* dalam pabrik ini dipilih etilen oksida yang akan meningkatkan produksi DEC karena kesetimbangan reaksi akan bergeser ke arah produk karena reaksi sintesis DEC merupakan reaksi yang sulit terjadi secara spontan dengan adanya pembatasan termodinamika [9]. Pemilihan katalis ini berdasarkan sifat dari KI yang memiliki nukleofilitas yang tinggi, dari hasil penelitian juga disebutkan bahwa berperan dalam pembukaan ikatan dari etilen oksida berperan di dalam reaksi sikloadisi dan aktivitas katalis sangat dipengaruhi dengan bantuan etanol, sedangkan katalis dasar dari sodium etoksida (EtONa) merupakan komponen yang digunakan untuk reaksi transesterifikasi dari etilen karbonat untuk memproduksi DEC dan etilen glikol secara efektif. Mekanisme *one-pot*

synthesis dietil karbonat dari etilen oksida, CO₂, dan etanol dengan menggunakan katalis biner KI-EtONa diilustrasikan pada Gambar 1 [4]. Produk yang dihasilkan dari reaksi ini merupakan produk berfasa likuida dengan kondisi operasi aliran produk yaitu 169,8°C dan 30 bar.

Unit Separasi adalah unit yang berfungsi untuk memisahkan produk – produk yang dihasilkan hasil reaksi dengan pengotor – pengotor yang masih terikut ke dalam aliran produk. Aliran produk yang keluar dari reaktor (R-210) selanjutnya dengan menggunakan *valve* (K-313), aliran yang semula berfasa likuida berubah menjadi dua fasa yaitu gas dan likuida. Tujuan pengkondisian fluida agar menjadi dua fasa adalah agar dapat dialirkan ke dalam *flash separator* (H-310) untuk memisahkan komponen ringan seperti metana dan etilen oksida yang masih terikut ke dalam produk karena dapat mempengaruhi kemurnian produk. Produk atas dari proses pemisahan ini berisi komponen ringan akan dibuang ke udara sedangkan produk bawah yang berisi produk hasil reaksi beserta etanol yang masih cukup besar akan dialirkan menuju proses distilasi menggunakan kolom distilasi (D-310) untuk memisahkan etanol dari produk yang mana etanol tersebut akan di-*recycle* dan dilakukan pencampuran dengan etanol *make up* untuk kemudian direaksikan kembali di dalam reaktor. *Top product* hasil dari proses di dalam kolom distilasi (D-310). Komponen etanol hasil dari produk atas kolom distilasi (D-310) memiliki kemurnian yang masih belum murni dan mengandung beberapa pengotor yang dapat mempengaruhi kualitas *feed* etanol yang akan masuk ke dalam reaktor sehingga diperlukan pengolahan aliran etanol dengan langkah memurnikannya menggunakan kolom distilasi (D-320). Produk atas hasil proses di dalam kolom distilasi (D-320) merupakan etanol dengan komposisi 95,2% mol akan dicampurkan dengan etanol *make up* dengan komposisi 98% mol. Untuk produk bawah hasil distilasi (D-320) berupa *sour water*. Sedangkan *bottom product* kolom distilasi (D-310), yang banyak mengandung DEC, EC, EG, serta *cellosolve* akan dipisahkan lebih lanjut pada tahap berikutnya.

Pada aliran *recycle* etanol yang merupakan *top product* dari kolom distilasi (D-310) akan dicampurkan dengan etanol *make up* dan selanjutnya dipompa untuk dinaikkan tekanannya menjadi 30,6 bar untuk mengkondisikan aliran *feed* etanol sebelum memasuki reaktor. *Feed* etanol campuran memiliki komposisi 95,8% mol yang selanjutnya akan dialirkan ke dalam reaktor (R-210).

Unit Purifikasi adalah unit yang bertujuan untuk memurnikan produk – produk yang diinginkan agar lebih murni menggunakan proses *sequence distillation* setelah mempertimbangkan seleksi proses dari alternatif proses distilasi yang ada. Alternatif *sequence distillation* yang dipilih adalah proses yang memiliki beban vapor yang paling rendah karena faktor yang paling berpengaruh pada konsumsi energi adalah beban vapor. Pada tahap pemurnian ini terbagi menjadi tiga bagian proses yaitu proses purifikasi etilen glikol, etilen karbonat, dan DEC. *Bottom product* hasil proses di dalam kolom distilasi (D-310) akan dipompa dan dialirkan menuju kolom distilasi (D-410) untuk memisahkan campuran produk sehingga yang keluar sebagai produk atas mengandung komponen DEC, *Cellosolve*, dan sebagian kecil Etilen Glikol. Sedangkan produk bawah mengandung komponen Etilen Glikol dan Etilen Karbonat. Aliran produk

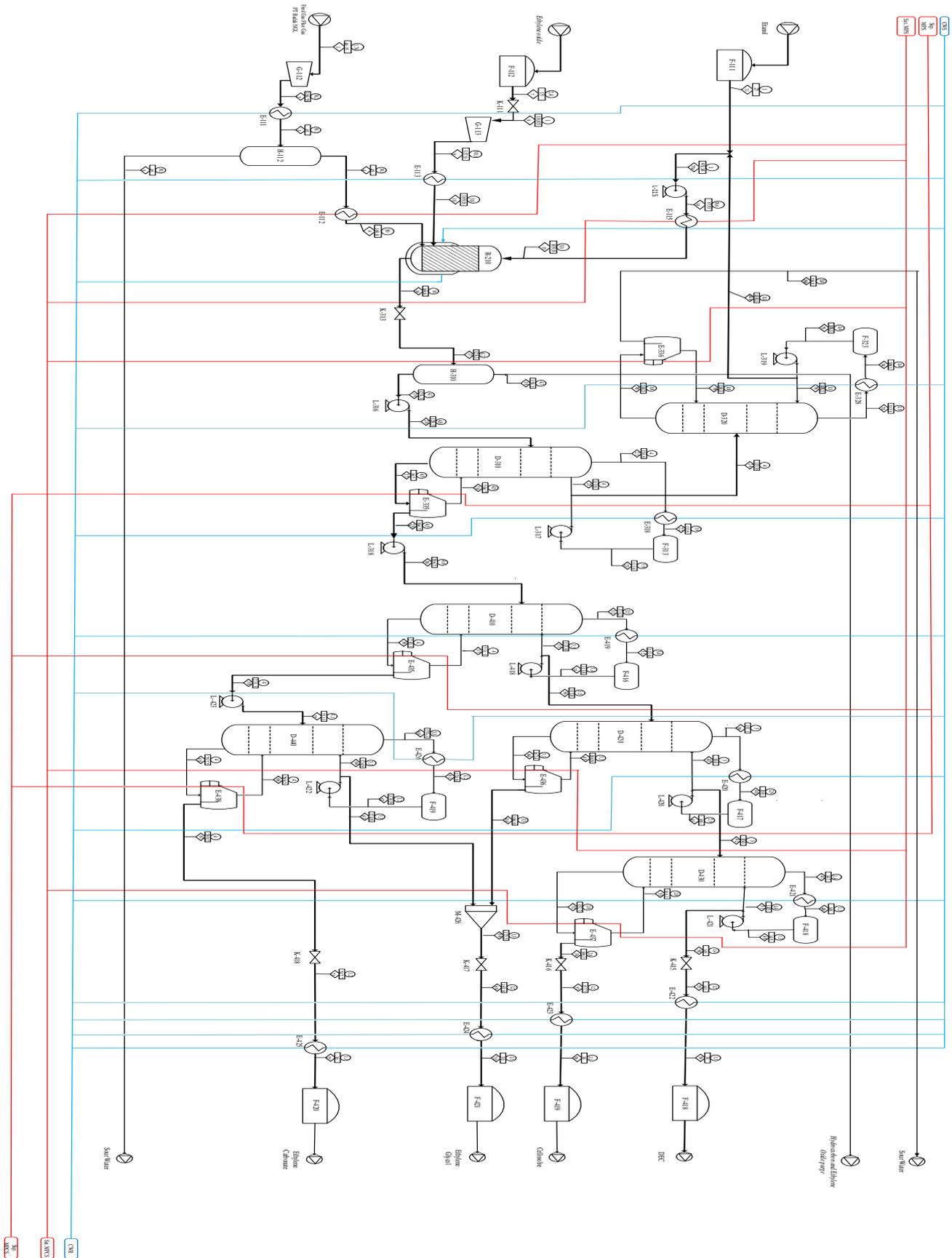
Tabel 5.

Spesifikasi dan Properti Produk Samping (EC)	
Karakteristik	Keterangan
Kemurnian (%)	99,99
Berat Molekul (g/mol)	88,06
Densitas (g/cm ³)	1,3120
Titik Beku (°C)	36
Titik Leleh (°C)	34 – 37
Flash Point (°C)	150
Viskositas (cp)	1,5

Tabel 6.

Spesifikasi dan Properti Produk Samping (<i>Cellosolve</i>)	
Karakteristik	Keterangan
Kemurnian (%)	99,83
Berat Molekul (g/mol)	90,12
Titik Lebur (°C)	-90
Titik Didih (°C)	135
Densitas (g/cm ³)	0,93
Flash point (°C)	40
Kelarutan	<i>Miscible</i>

atas dari kolom distilasi (D-410), dialirkan ke dalam kolom distilasi (D-420) untuk memisahkan Etilen Glikol yang masih terikut di dalam campuran DEC – *Cellosolve*, sehingga didapat produk atas kolom distilasi (D-420) mengandung komponen DEC dan *Cellosolve*, sedangkan produk bawah mengandung komponen Etilen Glikol. Kemudian, hasil produk atas kolom distilasi (D-420), dialirkan ke dalam kolom distilasi (D-430) untuk memurnikan produk DEC dan *Cellosolve*. Sehingga diperoleh produk atas berupa produk Dietil Karbonat sebagai produk utama dengan kemurnian sebesar 99,96%, sedangkan produk bawah berupa *Cellosolve* dengan kemurnian sebesar 99,83%. Kemudian, aliran produk bawah kolom distilasi (D-410), dialirkan ke dalam kolom distilasi (D-440) dengan tujuan untuk memurnikan Etilen Glikol (EG) dan Etilen Karbonat (EC). Produk atas kolom distilasi (D-440) yang merupakan aliran yang banyak mengandung Etilen Glikol, dicampurkan dengan produk bawah kolom distilasi (D-420) yang merupakan aliran hasil pemisahan komponen EG yang masih terikut ke dalam campuran DEC-*Cellosolve*. Proses pencampuran aliran EG ini dilakukan menggunakan *mixer* (M-426) yang kemudian dikondisikan sebelum dimasukkan ke dalam *storage* EG dengan produk akhir EG yang dihasilkan memiliki kemurnian sebesar 99,51%. Sedangkan produk bawah dari kolom distilasi (D-440) merupakan aliran produk yang banyak mengandung komponen Etilen Karbonat kemudian dikondisikan sebelum dimasukkan ke dalam *storage* EC dengan produk akhir EC yang dihasilkan memiliki kemurnian sebesar 99,99%. Masing – masing produk hasil sintesa DEC dikondisikan dengan langkah diturunkan tekanannya hingga mencapai tekanan atmosferik sebelum dialirkan ke dalam *storage* masing – masing produk. Spesifikasi produk utama DEC ditunjukkan dalam Tabel 3 yang dibutuhkan oleh industri. Gambar 2 menunjukkan *process flow diagram* pra desain pabrik Dietil Karbonat dari CO₂, Etanol, dan Etilen Oksida. Produk utama maupun produk samping dari hasil sintesa pembuatan dietil karbonat ini disimpan di dalam tangki penyimpanan pada fasa likuida dan dikondisikan berada pada kondisi atmosferik baik tekanan maupun suhu penyimpanannya. Spesifikasi dan property produk utama dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2. Process Flow Diagram.

Pabrik sintesis DEC juga menghasilkan tiga produk samping yang memiliki nilai jual, antara lain etilen glikol, etilen karbonat, dan cellosolve. Dimana spesifikasi dari ketiga produk samping tersebut ditunjukkan dalam Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

III. NERACA MASSA

Berikut merupakan hasil perhitungan dari neraca massa pra desain pabrik Dietil Karbonat dari CO₂, Etanol, dan Etilen

Oksida dengan kapasitas *feed flue gas* sebanyak 29.520 ton per tahun, etanol sebesar 33.000 ton per tahun, dan etilen oksida sebesar 33.000 ton per tahun menghasilkan produk utama DEC yang memiliki kemurnian 99.96% berat dengan kapasitas sekitar 220.000 ton per tahun. Selain DEC, pabrik ini juga memiliki by-product yang mempunyai nilai jual yaitu senyawa EG dengan kapasitas 120.000 ton per tahun, EC dengan kapasitas 1.000.000 ton per tahun, dan Cellosolve dengan kapasitas 13.000 ton per tahun [9]–[17].

IV. ANALISA EKONOMI

Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan IRR sebesar 35% per tahun dan BEP sebesar 32% dimana POT selama 4,75 tahun. Dengan bunga 9,9% per tahun. Umur dari pabrik tersebut diperkirakan selama 10 tahun dengan periode pembangunannya selama 2 tahun dengan operasi pabrik 330 hari/tahun dan 24 jam/hari. Adapun rincian dari segi ekonomi adalah sebagai berikut

1) Modal Investasi	: Rp 1.161.779.753.500 / 10 tahun
2) Biaya Produksi	: Rp 30.049.342.358.217 / 10 tahun
3) Hasil Penjualan	: Rp 32.380.348.143.330 / 10 tahun
4) Laba Bersih	: Rp 81.845.822.310 / tahun
5) Harga Jual DEC	: 2100 US \$ /ton
6) Harga Jual EG	: 1500 US \$ /ton
7) Harga Jual EC	: 1400 US \$ /ton
8) Harga Jual Cellosolve	: 1300 US \$ /ton
9) IRR	: 35 %
10) BEP	: 32 %
11) POT	: 4,75 tahun

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa ekonomi didapatkan nilai IRR sebesar 35% yang lebih tinggi dari suku bunga bank yaitu sebesar 9,9% per tahun dengan penembalian modalnya selama 4,75 tahun dan BEP pada 32% kapasitas maka pabrik

Dietil Karbonat dari CO₂, Etanol, dan Etilen Oksida layak didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPH Migas, *Laporan Kinerja Tahun 2018*. Jakarta: BPH Migas, 2018.
- [2] Y. Ardillah, "Faktor risiko kandungan timbal di dalam darah," *J. Ilmu Kesehat. Masy.*, vol. 7, no. 3, 2016.
- [3] B. C. Dunn *et al.*, "Production of diethyl carbonate from ethanol and carbon monoxide over a heterogeneous catalyst," *Energy & Fuels*, vol. 16, no. 1, pp. 177–181, 2002.
- [4] L. Wang *et al.*, "Highly efficient synthesis of diethyl carbonate via one-pot reaction from carbon dioxide, epoxides and ethanol over KI-based binary catalyst system," *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 471, pp. 19–27, 2014.
- [5] L. A. Anggerta, F. Kurniawansyah, and G. Wibawa, "Catalytic synthesis of diethyl carbonate via one-pot reaction from carbon dioxide, ethanol, and epoxide," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 546, no. 7, p. 72001.
- [6] E. Leino *et al.*, "Synthesis and characterization of ceria-supported catalysts for carbon dioxide transformation to diethyl carbonate," *Catal. Today*, vol. 306, pp. 128–137, 2018.
- [7] M. A. Pacheco and C. L. Marshall, "Review of dimethyl carbonate (DMC) manufacture and its characteristics as a fuel additive," *Energy & Fuels*, vol. 11, no. 1, pp. 2–29, 1997.
- [8] G. Wibawa, "Tekanan Uap (Vapor Pressure) Untuk Campuran 2-Butanol + Diethyl Carbonate dan Tert-Butanol + Diethyl Carbonate," *J. Integr. PROSES*, vol. 7, no. 2, pp. 87–92, 2018.
- [9] S. Van Ness, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. Singapore: Mc Graw Hill, 1967.
- [10] D. Q. Kern, *Process Heat Transfer*. Singapore: McGraw-Hill Book Company, Inc, 1965.
- [11] D. M. Himmelblau and J. B. Riggs, *Basic principles and calculations in chemical engineering*. FT press, 2012.
- [12] L. E. dan E. H. Y. Brownell, *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, 1959.
- [13] E. E. Ludwig, *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants Volume 2 Third Edition*. Houston: Gulf Publishing Company, 1997.
- [14] C. J. Geankoplis, *Transport Processes and Separation Process Principles: (Includes Unit Operations)*, 4th ed. New Jersey: Prentice Hall Professional Technical Reference, 2003.
- [15] D. W. Green and R. H. Perry, *Perry's Chemical Engineers' Handbook/edición Don W. Green y Robert H. Perry.*, no. C 660.28 P47 2008. 2019.
- [16] M. Van Winkle, *Distillation*. New York: McGraw Hill Book Company, 1967.
- [17] G. D. Ulrich, *A guide to Chemical Engineering Process Design and Economic*. Canada: John Wiley and Sons, 1984.