

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1 Pendahuluan

Teknologi di dunia industri terus mengalami perkembangan yang pesat, yang mendorong kemunculan berbagai sektor industri baru di Indonesia. Salah satu sektor yang memiliki peran strategis dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional adalah industri kimia, khususnya dalam penyediaan bahan bakar dan bahan kimia alternatif. Seiring meningkatnya kebutuhan energi nasional serta keterbatasan pasokan minyak bumi, dibutuhkan inovasi dalam proses produksi dan pendirian pabrik berbasis sumber daya lokal guna mengurangi ketergantungan terhadap energi impor.

Salah satu bentuk inovasi yang relevan dan berpotensi besar untuk dikembangkan adalah industri Dimetil Eter (DME), yaitu senyawa eter sederhana yang memiliki sifat fisik dan kimia mirip dengan LPG, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai substitusi bahan bakar seperti minyak solar dan LPG. Pada tahun 2023, konsumsi LPG mencapai 8,7 juta ton yang dipenuhi dari produksi LPG dalam negeri sebesar 1,9 juta ton dan impor 6,9 juta ton. Suksesnya program konversi minyak tanah ke LPG menyebabkan konsumsi LPG terus meningkat, sementara penyediaan LPG dari kilang LPG dan kilang minyak di dalam negeri terbatas. Naiknya konsumsi LPG khususnya LPG 3 kg yang masih disubsidi perlu diantisipasi pemerintah mengingat banyaknya penggunaan LPG 3 kg yang tidak tepat sasaran.

Pada tahun 2050 kebutuhan LPG diperkirakan akan meningkat hingga 2,7 kali lipat atau 18,1 juta ton. Hanya sekitar sepertiga dari kebutuhan LPG yang

mampu dipenuhi dari produksi dalam negeri, sehingga pasokan LPG impor tidak dapat dihindari (BPPT, 2018). Sehingga hal ini menimbulkan permasalahan baru yaitu tidak terpenuhinya kebutuhan energi nasional. Untuk mengurangi volume impor LPG yang terus meningkat, saat ini pemerintah sedang merencanakan program substitusi LPG dengan DME (Dimetil Eter). DME dapat diproduksi dari berbagai sumber daya yang melimpah di Indonesia, seperti gas alam, batubara dan biomassa dimana menjadikannya alternatif yang menjanjikan dalam upaya memperkuat ketahanan energi nasional.

Pembangunan pabrik DME di dalam negeri menjadi langkah strategis dalam optimalisasi pemanfaatan sumber daya alam lokal, terutama di wilayah di luar Pulau Jawa. Selain itu, pengembangan industri DME berpotensi mendorong inovasi teknologi dalam sektor energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Keberadaan industri ini juga akan membuka peluang investasi baru, menciptakan lapangan kerja serta mengurangi beban subsidi dan impor energi dari luar negeri. Dalam jangka panjang, langkah ini akan memberikan kontribusi signifikan terhadap stabilitas ekonomi nasional serta mewujudkan kemandirian energi Indonesia, seiring dengan meningkatnya permintaan energi di sektor transportasi, industri dan rumah tangga.

Selain digunakan sebagai bahan bakar, DME juga memiliki aplikasi yang luas dalam industri kimia terutama sebagai bahan propelan aerosol untuk produk-produk seperti kosmetik, insektisida dan cat. Saat ini, masih banyak industri yang menggunakan bahan kimia berbahaya sebagai propelan aerosol, yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia jika digunakan secara berlebihan dalam jangka waktu lama. Paparan terhadap bahan kimia tersebut

diketahui dapat menyebabkan gangguan pernapasan, asma bahkan penyakit kronis seperti kanker (Mandaris *et al*, 2011).

Oleh karena itu, diperlukan alternatif bahan kimia yang lebih aman dan ramah lingkungan. DME adalah suatu senyawa organik dengan rumus kimia CH_3OCH_3 yang dapat dihasilkan dari pengolahan gas bumi, hasil olahan dan hidrokarbon lain. DME dapat digunakan sebagai bahan bakar, yang mana dapat dimanfaatkan secara langsung ataupun sebagai campuran (Madani *et al*, 2024). Selain dikenal sebagai bahan bakar alternatif, DME juga memiliki potensi besar sebagai bahan baku kimia, khususnya dalam aplikasi industri aerosol. Karakteristik DME yang tidak beracun, mudah menguap serta tidak merusak lapisan ozon menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan propelan aerosol konvensional seperti CFC dan hidrokarbon berat. DME saat ini telah dimanfaatkan di berbagai industri seperti kosmetik, insektisida dan cat sebagai bahan propelan yang aman dan efisien. Di Indonesia, penggunaan DME sebagai bahan kimia industri masih tergolong terbatas, namun permintaan global terhadap aerosol ramah lingkungan menunjukkan tren yang terus meningkat.

Di Indonesia, salah satu produsen DME adalah PT. Bumi Tangerang Gas Industri dengan kapasitas produksi sebesar 12.000 ton per tahun. Namun, kapasitas tersebut belum mencukupi kebutuhan dalam negeri, sehingga sebagian besar DME masih harus diimpor. Oleh karena itu, pembangunan pabrik DME dalam negeri yang berorientasi pada sektor industri kimia, khususnya industri aerosol menjadi langkah strategis yang tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan kimia impor berbahaya, tetapi juga meningkatkan daya saing industri nasional. Selain itu, langkah ini akan mendorong pemanfaatan sumber daya alam

lokal secara lebih optimal, serta mendukung transisi industri kimia menuju praktik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan dan keselamatan lingkungan, DME dapat menjadi solusi unggulan dalam transformasi industri kimia nasional.

1.2 Sejarah dan Perkembangannya

Dimetil eter (DME), dengan rumus kimia CH_3OCH_3 adalah senyawa organik berbentuk gas tak berwarna yang merupakan eter alifatik paling sederhana sekaligus isomer dari etanol. DME memiliki karakteristik mudah menguap, tidak beracun dalam konsentrasi rendah, serta tidak merusak lapisan ozon, menjadikannya bahan kimia serbaguna untuk berbagai aplikasi industri. Senyawa ini pertama kali disintesis pada tahun 1835 oleh dua ahli kimia asal Prancis, Jean-Baptiste Dumas dan Eugène Péligot, dan sejak saat itu dikenal luas sebagai senyawa antara dalam reaksi sintesis di lingkungan laboratorium.

Memasuki abad ke-20, pemanfaatan DME berkembang ke skala industri, terutama sebagai bahan antara untuk produksi dimetil sulfat, asam asetat, dan sebagai propelan aerosol. Penggunaan DME sebagai propelan mulai meningkat sejak tahun 1960-an, ketika senyawa ini mulai menggantikan klorofluorokarbon (CFC) yang terbukti merusak lapisan ozon. Sifat DME yang mudah menguap, stabil, dan aman pada konsentrasi rendah menjadikannya ideal untuk digunakan dalam produk aerosol seperti kosmetik, insektisida dan cat. Selain itu, DME juga dimanfaatkan sebagai pelarut laboratorium dan bahan baku dalam sintesis senyawa kimia lainnya.

Secara industri, DME diproduksi melalui dua jalur utama: sintesis dua tahap, yaitu gas sintesis (*syngas*) dikonversi menjadi metanol terlebih dahulu, lalu didehidrasi menjadi DME; serta sintesis satu tahap, yakni konversi langsung gas sintesis menjadi DME menggunakan katalis bifungsional dalam satu reaktor. Pada tahun 1995, Haldor Topsoe A/S memperkenalkan teknologi produksi DME secara langsung dari gas sintesis menggunakan katalis khusus dalam fixed bed reactor pada Kongres Insinyur Otomotif. Inovasi ini menjadi tonggak penting dalam efisiensi proses produksi DME. Selain itu, teknologi Lurgi Mega DME juga dikembangkan, di mana gas alam diubah menjadi metanol yang kemudian diproses dalam vessel untuk menghasilkan campuran DME, air dan hidrokarbon lain. Campuran tersebut selanjutnya dipisahkan melalui proses distilasi untuk memperoleh DME murni.

Kemajuan teknologi di akhir abad ke-20 dan awal abad ke-21 juga memungkinkan produksi DME dari sumber terbarukan seperti biomassa lignoselulosa, menjadikannya bahan bakar alternatif yang bersih. Proyek BioDME di Swedia menjadi contoh penting dalam pemanfaatan limbah industri pulp (*black liquor*) sebagai bahan baku gasifikasi untuk menghasilkan DME. DME memiliki angka cetana tinggi, bebas sulfur serta menghasilkan emisi yang sangat rendah, sehingga cocok digunakan sebagai pengganti solar dalam mesin pembakaran internal. Beberapa negara seperti Jepang dan Tiongkok telah memanfaatkan DME secara luas sebagai bahan bakar kendaraan, pembangkit listrik, serta sebagai campuran atau substitusi LPG.

Perkembangan industri DME secara global semakin pesat di awal abad ke-21. Di Tiongkok, pabrik komersial DME pertama dengan kapasitas 30 ton/hari

(sekitar 10.000 ton/tahun) dibangun oleh Lituanhua Group Incorporation bekerja sama dengan Tokyo Engineering Japan, dan mulai beroperasi pada Agustus 2003. Keberhasilan tersebut mendorong pembangunan pabrik dengan kapasitas lebih besar, yaitu 110.000 ton per tahun yang mulai beroperasi pada akhir tahun 2005. Selanjutnya, pada Desember 2006, kerja sama antara Lituanhua Group dan Tokyo Engineering menghasilkan proyek pabrik DME terbesar di dunia dengan kapasitas hingga 1 juta ton per tahun, berlokasi di Provinsi Mongolia Dalam, Tiongkok.

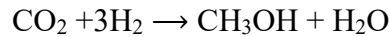
Di Indonesia, meskipun pemanfaatan DME masih terbatas, pemerintah dan industri mulai melihat potensi besar senyawa ini sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan pada impor LPG dan mendorong transisi menuju energi rendah karbon. Dengan terus berkembangnya teknologi produksi serta meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya energi bersih dan ramah lingkungan, dimetil eter diperkirakan akan memainkan peran penting dalam sektor energi dan industri kimia di masa depan.

1.3 Macam – Macam Proses Pembuatan

Berdasarkan pendekatannya, sintesis DME secara gas-phase dapat dibagi menjadi dua metode utama, yaitu *indirect synthesis* dan *direct synthesis*.

1.3.1 Sintesis Tidak Langsung (*Indirect Synthesis*)

Dalam pendekatan ini, *indirect synthesis* terjadi dalam dua tahap yang mana sintesis DME dilakukan melalui dua reaksi terpisah secara berurutan. Pertama, gas CO atau CO₂ direaksikan dengan gas hidrogen (H₂) untuk menghasilkan metanol menggunakan katalis berbasis logam, seperti Cu/ZnO/Al₂O₃. Pada proses reaksi ini terjadi di reaktor pada temperature 225-300°C dan high pressure pada 50-150 bar.



Selanjutnya, metanol yang terbentuk didehidrasi menjadi DME di reaktor kedua menggunakan katalis asam padat seperti γ -alumina, zeolit, atau heteropoli-asam. Pada proses dehidrasi metanol ini terjadi di reaktor pada kondisi *low pressure* yaitu 10-20 bar dan temperature 260-300°C (Abdalla and Abdalla, 2024).



Kelebihan pendekatan ini terletak pada kematangannya secara industri. Prosesnya telah banyak diterapkan, lebih mudah dikendalikan secara termodinamika, dan desain reaktornya relatif sederhana karena tiap reaksi dilakukan di unit terpisah. Namun, proses ini membutuhkan dua reaktor dan sistem pemisahan tambahan, sehingga meningkatkan kompleksitas dan biaya.

1.3.2 Sintesis Langsung (*Direct Synthesis*)

Sintesis langsung pada DME yang dilakukan dalam satu reaktor dengan menggunakan katalis bifungsional yang memiliki dua fungsi sekaligus: sintesis metanol dan dehidrasi metanol. Umumnya, digunakan campuran katalis seperti Cu/ZnO/ZrO₂ yang digabung dengan zeolit (HZSM-5) atau γ -alumina. Seluruh reaksi berlangsung secara simultan, sehingga proses ini memiliki potensi efisiensi energi lebih tinggi. Pada reaksi ini, terjadi pada suhu 220-275°C dan tekanan 30-50 bar.



Keunggulan lain dari *direct synthesis* adalah pengurangan jumlah unit operasi, yang berpotensi menurunkan biaya investasi (CAPEX) dan operasional (OPEX). Namun demikian, proses ini lebih kompleks dari sisi kontrol suhu, tekanan

dan manajemen air yang terbentuk dalam reaksi, serta belum banyak diterapkan dalam skala industri karena tantangan kestabilan katalis dan desain reaktornya

1.4 Sifat Fisik dan Kimia

1.4.1 Bahan Baku

1. Karbon Dioksida

Rumus Molekul	: CO_2	
Berat Molekul	: 44,01 kg/kmol	
Wujud	: Gas	
Warna	: Tidak Berwarna	
Titik didih (1 atm)	: $-78,50^\circ\text{C}$	
Titik Leleh (1 atm)	: $-57,50^\circ\text{C}$	
Densitas (1 atm)	: 1,87 gram/ cm^3	(Perry, 2008)

2. Hidrogen

Rumus Molekul	: H_2	
Berat Molekul	: 2,02 kg/kmol	
Wujud	: Gas	
Warna	: Tidak berwarna	
Titik Didih (1 atm)	: $-252,7^\circ\text{C}$	
Titik Leleh (1 atm)	: $-259,1^\circ\text{C}$	
Densitas (1 atm)	: 0,899 gr/ cm^3	(Perry, 2008)

1.4.2 Katalis

1. Cu/ZnO/ Al_2O_3

Wujud	: Padat	
Luas Permukaan	: 110 m ² /g	
Volume	: 0,13 cm ³ /g	
Porositas	: 0,51 g/cm ³	
Diameter	: 0,51 g/cm ³	
Densitas	: 0,44 g/m ³	(Portha et al, 2017)

2. ZSM-5 Zeolite

Bentuk Kristal	: Kubik	
Luas Permukaan	: 300 m ² /g	
Volume	: 0,13 cm ³ /g	
Porositas	: 0,51 cm ³ /g	
Diameter	: 2 mm	
Densitas	: 0,74 kg/m ³	(Advanced Chemical Supplier)

1.4.3 Produk

1. Produk Utama

Dimetil Eter

Rumus Molekul : C₂H₆O (CH₃OCH₃)

Berat Molekul : 46,07 g/mol

Wujud : Gas

Titik Didih Normal : -24,8°C

Titik Leleh : -138,5°C

Spesific gravity : 0,661 (pada 20°C)

2. Produk Samping

Metanol

Rumus Molekul	: CH_3OH
Berat Molekul	: 32,042 g/mol
Wujud	: Cairan
Titik Didih Normal	: $64,7^\circ\text{C}$
Titik Leleh	: $-97,6^\circ\text{C}$
<i>Spesific gravity</i>	: 0,793 (pada 20°C)

Air

Rumus Molekul	: H_2O
Berat Molekul	: 18,01 g/mol
Wujud	: Cairan
Titik Didih Normal	: 100°C
Titik Leleh	: 0°C
<i>Spesific gravity</i>	: 1,000 (pada 20°C)

Karbon Monoksida

Rumus Molekul	: CO
Berat Molekul	: 28,0101 g/mol
Wujud	: Gas
Titik Didih Normal	: -192°C
Titik Leleh	: -205°C
<i>Spesific gravity</i>	: 0,968 (pada 20°C)