

# BAB I

## PEMBAHASAN UMUM

### 1.1 Pendahuluan

Perkembangan industri kimia di Indonesia terus menunjukkan tren yang positif seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan berbagai bahan kimia dalam mendukung pembangunan nasional. Industri kimia merupakan sektor strategis yang memberikan kontribusi besar terhadap pertumbuhan ekonomi, peningkatan nilai tambah, serta penyediaan lapangan kerja. Salah satu fokus pengembangan industri kimia nasional adalah meningkatkan kapasitas produksi bahan kimia antara dan bahan kimia dasar untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor. Pemerintah Indonesia melalui berbagai kebijakan industri telah mendorong pendirian pabrik-pabrik kimia baru yang dapat memenuhi kebutuhan domestik sekaligus memperkuat daya saing industri nasional.

Salah satu jenis industri kimia yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia adalah industri *gamma-butyrolactone* (GBL). *Gamma-butyrolactone* merupakan senyawa organik yang digunakan secara luas sebagai bahan antara (*intermediate*) dalam pembuatan produk-produk kimia seperti *pyrrolidone*, pelarut industri, bahan aditif dalam elektrolit baterai *lithium-ion*, serta sebagai prekursor dalam industri farmasi dan agroindustri. Senyawa ini juga digunakan dalam pembuatan plastik, resin, dan produk pembersih. Melihat banyaknya aplikasi dari GBL di berbagai sektor industri, maka ketersediaannya dalam negeri menjadi sangat penting untuk menunjang aktivitas produksi berbagai industri tersebut. Hingga saat ini, kebutuhan GBL di Indonesia masih bergantung

pada impor, yang tentu saja menimbulkan berbagai permasalahan seperti ketergantungan pada pasar luar negeri, fluktuasi harga, serta pengeluaran devisa negara. *Gamma-butyrolactone* dapat diproduksi melalui proses dehidrogenasi *1,4-butanediol* dengan bantuan katalis logam transisi seperti tembaga atau perak. Oleh karena itu, pendirian pabrik *gamma-butyrolactone* di Indonesia diharapkan dapat menjadi solusi strategis untuk mengurangi impor, memperkuat kemandirian industri nasional, serta membuka peluang kerja dan meningkatkan nilai tambah di dalam negeri.

## 1.2 Sejarah dan Perkembangan *Gamma-Butyrolactone*

*Gamma-butyrolactone* (GBL) pertama kali diidentifikasi pada awal abad ke-20 sebagai senyawa lakton yang terbentuk dari dehidrasi asam 4-hidroksibutanoat. Senyawa ini termasuk dalam golongan lakton dengan struktur cincin lima anggota dan dikenal sebagai prekursor alami maupun sintesis dari beberapa senyawa kimia penting. Seiring dengan berkembangnya pengetahuan di bidang kimia organik, ilmuwan mulai menyadari potensi GBL sebagai bahan antara (*intermediate*) dalam berbagai reaksi kimia, khususnya dalam sintesis senyawa turunan seperti *1,4-butanediol*, *N-methyl-2-pyrrolidone* (NMP), dan *gamma-hydroxybutyrate* (GHB).

Pada dekade 1950-an hingga 1960-an, GBL mulai diproduksi secara komersial di negara-negara industri maju seperti Amerika Serikat, Jepang, dan negara-negara Eropa, terutama untuk memenuhi kebutuhan industri pelarut dan resin. Produksi awal GBL umumnya dilakukan melalui metode hidrogenasi dari *maleic anhydride* atau melalui konversi dari *1,4-butanediol* yang diperoleh dari

proses Reppe (reaksi asetilena dengan formaldehida). Seiring kemajuan teknologi, proses dehidrogenasi *1,4-butanediol* menjadi jalur yang lebih dominan karena memberikan hasil yang lebih efisien dan ekonomis.

Pada penggunaan  $\gamma$ -butyrolactone digunakan sebagai perantara dalam sintesis *NMethylpyrrolidone* (NMP), *pyrrolidone*, *herbisida*, dll.  $\gamma$ -butyrolactone juga dapat digunakan untuk campuran tinta cetak misalnya ink-jet, ekstrak dalam industri perminyakan, penstabil klorohidrokarbon dan pestisida berbasis fosfor. Kegunaan dari  $\gamma$ -butyrolactone sangat besar di berbagai sektor. Dapat ditinjau dari data yang terdapat pada Badan Pusat Statistik bahwa data yang ditunjukkan nilai impor lebih banyak daripada nilai ekspor. Beberapa perusahaan yang memproduksi  $\gamma$ butyrolactone yaitu *Sankyo medical* dan *Haofei Chemical*.

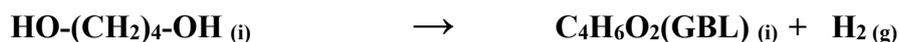
### 1.3 Macam-Macam Proses Pembuatan *Gamma-Butyrolactone*

Berdasarkan bahan baku yang dipergunakan untuk pembuatan gamma-butyrolactone dengan rumus molekul  $C_4H_6O_2$ , yang berwarna jernih, berbau tajam dan berbau tidak sedap, sedikit larut dalam air tetapi larut sempurna dalam alkohol dan ester. Pada *US Patent NO.20240308941A1* dan diperkuat dengan beberapa patent lain, Gamma-Butyrolactone dalam industri dapat dibuat dengan berbagai macam, yaitu:

#### 1.3.1 Proses Dehidrogenasi *1,4-Butanediol* (BDO)

Berdasarkan *US Patent NO.20240308941A1* dan *AS Patent NO.7,598,404*, proses dehidrogenasi *1,4-butanediol* (BDO) merupakan metode yang paling umum dan dominan digunakan dalam industri untuk memproduksi *gamma-butyrolactone* (GBL). Reaksi ini berlangsung dengan melepaskan *hidrogen* dari molekul BDO

untuk membentuk GBL melalui proses intramolekular yang membentuk cincin lakton. Reaksi umumnya dilakukan pada suhu antara 180–300°C dan tekanan atmosferik, menggunakan katalis logam transisi seperti tembaga (Cu), perak (Ag), atau kombinasi keduanya. Katalis tersebut memberikan aktivitas tinggi dan selektivitas yang baik terhadap GBL. Keunggulan utama dari proses ini adalah efisiensinya yang tinggi, kesederhanaan sistem operasi, serta kemampuannya menghasilkan GBL dalam kemurnian tinggi. Produk samping utama dari proses ini adalah gas hidrogen, yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar proses atau disimpan untuk keperluan lain. Oleh karena itu, proses dehidrogenasi BDO menjadi pilihan utama dalam rancangan pabrik GBL modern

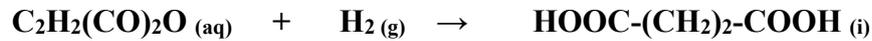


Katalis Panas

### 1.3.2 Proses Hidrogenasi *Succinic Anhydride* atau *maleic anhydride*

Berdasarkan *US Patent NO.20240308941A1* dan *US Patent NO6,248,906*, pada proses hidrogenasi *maleic anhydride* (MA) atau *succinic anhydride* (SA) merupakan jalur alternatif untuk menghasilkan GBL dengan memanfaatkan bahan baku yang lebih terjangkau dan tersedia dari industri petrokimia. Dalam proses ini, senyawa anhidrida mengalami hidrogenasi dalam kondisi suhu 100–250°C dan tekanan tinggi (biasanya antara 10–30 atm) dengan bantuan katalis logam mulia seperti *paladium* (Pd), *ruthenium* (Ru), atau nikel (Ni) yang didukung oleh bahan inert seperti karbon aktif. Reaksi ini memungkinkan konversi langsung dari senyawa anhidrida ke GBL dengan selektivitas tinggi, terutama jika kondisi reaksi dikontrol dengan baik. Meskipun proses ini mampu menghasilkan GBL dengan kemurnian tinggi, tantangannya terletak pada kebutuhan akan peralatan bertekanan

tinggi serta harga katalis yang relatif mahal. Namun demikian, proses ini tetap menjadi jalur yang menjanjikan terutama ketika bahan baku seperti maleic anhydride tersedia secara lokal dalam jumlah besar.



### 1.3.3 Proses Oksidasi *Tetrahydrofuran*

Berdasarkan *US Patent NO.20240308941A1* dan Uvgousti et al (1999), proses oksidasi *tetrahydrofuran* (THF) merupakan metode lain yang dapat digunakan untuk menghasilkan *gamma-butyrolactone*. THF yang merupakan senyawa siklik lima anggota, dioksidasi menggunakan oksigen atau agen pengoksidasi lain dalam kehadiran katalis seperti oksida logam (misalnya molibdenum oksida atau vanadium oksida). Reaksi ini berlangsung pada suhu tinggi dan melibatkan konversi langsung dari THF menjadi GBL dengan bantuan katalis oksidatif. Meskipun THF tersedia luas di industri petrokimia, proses ini jarang digunakan secara komersial karena tingkat selektivitasnya yang rendah dan risiko pembentukan produk samping berbahaya. Selain itu, pengendalian kondisi reaksi yang ketat diperlukan untuk mencegah over-oksidasi dan degradasi produk. Dengan demikian, meskipun secara teoritis memungkinkan, proses ini belum menjadi pilihan utama dalam skala industri.



Katalis

**Tabel 1.1** Pertimbangan pemilihan proses pembuatan *gamma-butyrolactone*

No Pertimbangan	Proses Dehidrogenasi	Proses Hidrogenasi	Proses Oksidasi
	1,4-Butanediol (BDO)	Succinic Anhydride atau Maleic Anhydride	<i>Tetrahydrofuran</i> (THF)

1	Bahan Baku	<i>1,4-Butanadiol (BDO)</i> , <i>Suksinat Anhidrida</i> atau <i>Tetrahidrofur</i> (THF), <i>Maleat Anhidrida</i> , Oksida (misalnya, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), Hidrogen.
2	Kondisi Operasi	Gas phase, 170-250 °C, 0.1-4 kg/cm <sup>2</sup> (bisa juga 230-270°C, 4 kg/cm <sup>2</sup> dengan H <sub>2</sub> berlebih). 60-180°C (untuk <i>Succinic Anhydride</i> ), 210-280°C, 6-12 MPa (untuk <i>Maleic Anhydride</i> ). Fase cair, sekitar 80 °C.
3	Katalis	atalis berbahan dasar tembaga (katalis berbahan dasar Cu), Cu-Cr, Cu-Cr-Mn, Cu-Cr-Zn. Katalis berbasis Logam Mulia (misalnya, Pd), Raney Ni, Cu, Co, Ni molibdat, tungstat, kromat, vanadate. <i>Nanopartikel Spinel ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i> , kompleks Cu, Mo/Ru, Fe.
4	Kelebihan	Tidak menghasilkan limbah berbahaya & Hidrogen sebagai produk sampingan dapat didaur ulang. Potensi produksi co-product seperti <i>succinic anhydride</i> (dari <i>Maleic Anhydride</i> ) & Dapat menggunakan bahan baku terbarukan (jika <i>Maleic Anhydride</i> berasal dari biomassa). Kondisi reaksi yang relatif ringan (suhu rendah) & Menggunakan oksidan "hijau" seperti H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .
5	Kekurangan	Beberapa katalis (misalnya Cu-Cr) memiliki toksisitas & Potensi deaktivasi katalis yang cepat (pada beberapa jenis katalis) & Membutuhkan suhu Kondisi reaksi bisa sangat ketat dan membutuhkan daur ulang hidrogen yang ekstensif pada tekanan tinggi & Bahan baku ( <i>Maleic Anhydride</i> ) dapat menjadi iritan & Biaya Tingkat konversi THF mungkin tidak setinggi metode lain & Risiko over-oksidasi pada suhu yang lebih tinggi & Masih ada produk sampingan minor yang terbentuk.

reaksi yang relatif tingg.	investasi peralatan yang tinggi.
-------------------------------	-------------------------------------

---

Berdasar perbandingan proses produksi *gamma –butyrolactrone* pada Tabel 1.6 maka pada perancangan pabrik *gamma –butyrolactrone* proses produksi dilakukan dengan cara proses *Hidrogenasi Succinic Anhydride* atau *Maleic Anhydride* karena:

- Bahan baku mudah didapat.
- Terdapat potensi cadangan bahan baku terbarukan.
- Kondisi operasi (suhu dan tekanan) lebih stabil.
- Produk samping yang dihasilkan berpotensi

## 1.4 Sifat Fisika

### 1.4.1. Bahan Baku

#### a. Hidrogen

Nama	: <i>Hidrogen</i>
Rumus Molekul	: H <sub>2</sub>
Berat Molekul	: 2,02 g/mol
Densitas	: 0,4460 g/cm <sup>3</sup>
Fasa	: Cair
Warna	: Berwarna
Titik lebur	: -259,15 °C
Titik didih	: -253 °C
Kelarutan	: Larut dalam air dan alcohol

(Sumber: MSDS PubChem, 2025)

b. Air (H<sub>2</sub>O)

Nama	: <i>Water</i>
Rumus Molekul	: H <sub>2</sub> O
Berat Molekul	: 32,04 g/mol
Densitas	: 18,02 g/cm <sup>3</sup>
Fasa	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Titik lebur	: 100°C
Titik didih	: 0°C

(Sumber: MSDS PubChem, 2025)

## c. Metanol

Nama	: <i>methanol</i>
Rumus Molekul	: CH <sub>4</sub> O
Berat Molekul	: 32,04 g/mol
Densitas	: 0,79 g/cm <sup>3</sup>
Fasa	: Cair
Warna	: Berwarna
Titik lebur	: -97,8°C
Titik didih	: 64,6°C
Kelarutan	: Larut dalam air

(Sumber: MSDS PubChem, 2025)

## d. Hidrogen

Nama	: <i>Hidrogen</i>
Rumus Molekul	: H <sub>2</sub>
Berat Molekul	: 2,02 g/mol

Densitas	: 0,4460 g/cm <sup>3</sup>
Fasa	: Cair
Warna	: Berwarna
Titik lebur	: -259,15 °C
Titik didih	: -253 °C
Kelarutan	: Larut dalam air dan alcohol

(Sumber: MSDS PubChem, 2025)

#### 1.4.2. Katalis

##### a. Tembaga kromit

Nama	: <i>Copper chromite catalyst (CuCrO<sub>2</sub>)</i>
Rumus Molekul	: CuCrO <sub>2</sub>
Berat molekul	: 131,54 g/mol
Fase	: Padat
Densitas	: 5,42 gr/m <sup>3</sup>
Warna	: Hitam
Titik Lebur	: 1100°C
Kelarutan	: Tidak larut dalam air

(Sumber: MSDS PubChem, 2025)

##### b. Amberlyst 16

Nama	: <i>Amberlyst 16</i>
Rumus Molekul	: Tidak ada rumus molekul tunggal karena ini adalah polimer kompleks.
Fase	: Padat
Densitas	: 0,78 gr/m <sup>3</sup>
Warna	: Abu-abu

Titik Lebur : 130°C  
Kelarutan : Tidak larut dalam air

(Sumber: MSDS PubChem, 2025)

#### 1.4.3. Produk

##### a. Gamma Butyrolactone

Nama : *Gamma Butyrolactone*  
Rumus Molekul : C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>  
Berat molekul : 86,09 g/mol  
Fase : Cair  
Densitas : 1,15 gr/m<sup>3</sup>  
Warna : Tidak Berwarna  
Titik Lebur : 43,5 °C  
Titik didih : 204 - 206 °C  
Kelarutan : Larut dalam air

(Sumber: MSDS LabChem, 2025)