

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1 Pendahuluan

Industri oleokimia Indonesia saat ini masih tertinggal dibandingkan kompetitornya dikarenakan terbatasnya akses bahan baku murah. Padahal akses bahan baku menjadi krusial dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi pada industri oleokimia. Salah satu industri strategis yaitu industri kimia melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 14 tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional tahun 2015-2035 di dalamnya memuat mengenai rencana pengembangan industri kimia.

Salah satu industri kimia yang perlu dikembangkan saat ini adalah industri etilen glikol. Etilen glikol merupakan komoditas bahan kimia yang cukup potensial untuk di produksi di Indonesia. Hal ini dikarenakan Indonesia masih mengimpor bahan baku dari luar negeri, seperti Amerika Serikat, Belanda, Inggris, Jepang, dan Kanada. Di sisi lain, kebutuhan industri di Indonesia yang menggunakan etilen glikol untuk produksinya terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun terutama kebutuhan sandang. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik bahwasanya kebutuhan etilen glikol dari tahun 2016-2020 terus mengalami peningkatan dengan peningkatan impor rata-rata sebesar 12,34% (BPS, 2021). Pelanggan utama produk etilen glikol adalah produsen serat sintesis dan industri *polyester terephthlate* (PET) resin.

Semakin bertambahnya jumlah pelaku industri beriringan dengan peningkatan pemanasan global yang dihasilkan dari proses produksi menggunakan bahan fosil. Dampak saat ini yang dirasakan salah satunya perubahan iklim (*climate change*). Pemanasan global mengakibatkan terjadinya perubahan iklim dikarenakan adanya peningkatan konsentrasi gas CO₂ (Karbon dioksida) dan gas rumah kaca (Nurliyan *et al*, 2020). Gas alam merupakan salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca pada sektor energi dan proses industri sebesar 558.890 GgCO₂e dan 55.395 GgCO₂e (BPS, 2019).

Indonesia sebagai negara agraris memiliki potensi biomassa yang melimpah (Imansuri *et al*, 2019). Biomassa lokal dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi adalah kelapa sawit (Papilo, 2018). Provinsi Jambi memiliki produksi angka estimasi kelapa sawit sebesar 3.109.205 Ton pada tahun 2021. Kebun kelapa sawit hampir merata di seluruh Indonesia dapat ditemui di 26 provinsi di Indonesia (Kementerian Pertanian, 2020). Peningkatan produksi kelapa sawit berbanding lurus dengan peningkatan volume limbah kelapa sawit (Myzhar & Sutjahjo, 2019).

Dalam produksinya pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah padat berupa serabut, serbuk, tempurung, dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Tandan kosong kelapa sawit salah satu limbah hasil pengolahan kelapa sawit yang dapat mencapai 20-23%, disamping serat, cangkang, dan limbah cair pabrik kelapa sawit (Joni *et al*, 2020). Dalam penelitian Firmansyah (2011) bahwa pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit selama ini masih sangat terbatas yaitu ditimbun (*open dumping*) dan dibakar dalam *incinerator* (Warsito *et al*, 2016).

Tandan kosong kelapa sawit mempunyai kandungan selulosa 37,6%, hemiselulosa 23,9%, lignin 38,5% (Athanasia *et al*, 2021). Tandan kosong kelapa

sawit dapat menjadi bahan baku dalam produksi etilen glikol. TKKS memiliki keunggulan berupa *renewable resources*, ketersediannya yang melimpah dan belum dimanfaatkan, serta memiliki kandungan selulosa yang tinggi.

Pengembangan teknologi produksi etilen glikol dalam skala nasional berpotensi mengurangi limbah tandan kosong kelapa sawit pada berbagai daerah di Indonesia, mendukung pengembangan industri oleokimia di Indonesia, serta mendukung target bauran energi terbarukan 23% tahun 2025 yang ditargetkan pemerintah Indonesia melalui penggunaan limbah tandan kosong kelapa sawit pengganti gas alam. Selain itu dengan didirikannya pabrik etilen glikol dapat mendorong industri lain yang menggunakan etilen glikol sebagai bahan pokok atau sebagai bahan pelengkap. Oleh karena itu, dalam skripsi ini penulis berusaha memberikan sumbangan pemikiran yang diharapkan dapat berguna untuk pengembangan industri kimia di Indonesia.

1.2 Sejarah dan Perkembangan Etilen Glikol

Perkembangan sejarah pabrik etilen glikol dimulai dari penelitian seorang ilmuwan kimia Prancis bernama Charles-Adolphe Wurtz pada tahun 1859 yang pertama kali membuat etilen glikol. Ia menggunakan reaksi saponifikasi dengan mencampur etilen glikol diasetat dengan kalium hidroksida dan tahun berikutnya dibuat dengan reaksi hidrasi etilen oksida. Namun, belum ada aplikasi untuk senyawa ini yang telah disempurnakan sebelum Perang Dunia I. Selama Perang Dunia I, etilen glikol mulai disintesis dari etilen klorida dan digunakan untuk menggantikan gliserol pada bahan peledak tertentu, selain itu juga digunakan sebagai pendingin.

Etilen glikol akhirnya diproduksi secara komersial oleh *Carbide* dan *Carbon Chemicals Co (Union Carbide Corporation)* setelah Perang Dunia I selesai. Setelah 10 tahun kemudian, senyawa ini biasa dipergunakan oleh pabrik dinamit. Pada tahun 1937, *Carbide* membuka pabrik manufaktur baru berdasarkan reaksi oksidasi etilen dengan etilen oksida yang kemudian dikonversi menjadi etilen glikol yang direaksikan dengan air. Pada waktu itu, etilen oksida merupakan senyawa yang tersedia dengan harga murah sebagai bahan sintesis. Monopoli *Carbide* berakhir pada tahun 1953, ketika proses ini ditawarkan untuk lisensi. Dalam mempercepat proses dan meningkatkan hasil dapat digunakan katalis baik asam maupun basa, tetapi proses ini juga dapat terjadi pada pH netral. Produk sampingnya termasuk oligomer etilen glikol, diantaranya seperti dietilen glikol, trietilen glikol, dan tetraetilen glikol.

Sebuah proses terbaru yang baru saja dikembangkan oleh Shell disebut proses OMEGA. Proses ini mengkonversi etilen oksida ke etilen karbonat dengan reaksi menggunakan karbon dioksida, kemudian diikuti oleh reaksi dengan air untuk menghasilkan etilen glikol dengan sintesis rendah oleh produk. Ini adalah proses produksi dimana karbon dioksida dilepaskan selama proses kedua dan dimasukkan kembali ke dalam proses (Reis, 2013). Berikut daftar pabrik etilen glikol yang ada di dunia.

Tabel 1.1. Pabrik Etilen Glikol di Dunia

Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/tahun)
Farmosa Plastics	Amerika Serikat	300.000
Union Carbide	Amerika Serikat	915.000
Shell Chemical	Belanda	130.000
Eni Chem	Italia	5.000
PT Polychem	Indonesia	216.000
Union Carbide	Inggris	200.000
Nippon Shokubai	Jepang	125.000
BASF	Jerman	5.000
Clariant	Jerman	15.000
Singapura	Singapura	125.000

Di Indonesia, kebutuhan nasional etilen glikol pada tahun 2013 adalah sebesar 406.995 ton/tahun. Kebutuhan etilen glikol di Indonesia salah satunya dipasok oleh PT Polychem Indonesia Tbk merupakan pabrik pertama dan satu-satunya di Asia Tenggara yang memproduksi etilen oksida, etilen glikol, dan etoksilat dengan lisensi dari *Scientific Design Inc, USA (United States)*. Pabrik ini didirikan pada tahun 1993 dan memproduksi 80.000 ton/tahun kemudian pada tahun 1997 meningkat menjadi 200.000 ton/tahun hingga sekarang memproduksi 216.000 ton/tahun etilen glikol (Lestari dkk., 2015; Yesi & Melwita, 2016).

1.3 Macam-Macam Proses Pembuatan Etilen Glikol

Sampai akhir tahun 1981, hanya ada 2 proses pembuatan etilen glikol secara komersial. Yang pertama hidrasi etilen oksida yang sejak tahun 1968 sampai 1981 merupakan dasar dari semua proses pembuatan etilen glikol. Kedua didasarkan pada reaksi formaldehid dengan karbonmonoksida yang dipakai oleh *Du pont* dari tahun 1938 sampai tahun 1968, saat ini proses ini dihentikan. Meskipun dari proses formaldehid *du pont* tidak pernah melebihi 8% dari keseluruhan produksi etilen glikol di Amerika Serikat, tetapi perlu juga diketahui sebagai proses yang pernah ada. Teknologi pembuatan etilen glikol diantaranya adalah proses formaldehid *du*

point, proses hidrasi etilen oksida, proses oksiklorinasi, proses union carbide-ube signas (McKetta, 1984).

1. Proses hidrasi etilen oksida

Pada proses hidrasi etilen oksida distribusi produk pada reaktor tidak begitu terpengaruh oleh suhu dan tekanan pada kisaran suhu 190°C-200°C dan tekanan 14-22 bar. Distribusi produk secara substansional sama antara reaksi katalik dan reaksi nonkatalik, dimana bila dengan katalis basa hasil glikol derajat tinggi akan meningkat atau lebih tinggi bila dibandingkan dengan katalis asam. Kecepatan reaksi hidrasi sangat dipengaruhi oleh suhu katalis asam. Efektifitas basa sekitar 1/100 dibandingkan dengan asam pada konsentrasi yang sama dalam reaksi hidrasi.

Pemakaian katalis asam dalam reaktor hidrasi memungkinkan untuk dioperasikan dalam suhu dan tekanan relatif lebih rendah dibandingkan reaksi non katalis. Tetapi membuat larutan sangat korosif dan membutuhkan peralatan anti korosif yang harganya mahal. Bahan baku etilen oksida dan air dicampur bersama-sama dengan *recycle* dan dipompa ke reaktor hidrasi setelah dipanaskan air panas *recycle* dan uap air. Jika unit glikol dikombinasi dengan pabrik etilen oksida akan menjadi pertimbangan ekonomi untuk memberi umpan dari unit etilen oksida, tetapi hal ini dapat berpengaruh pada katalis glikol produk jika monoetilen glikol *fiber grade*.

Dalam reaktor glikol, menetapkan waktu tinggal yang cukup untuk mereaksikan (*noncatalytic*) semua etilen oksida. Tekanan operasi dikontrol untuk menghindari penguapan etilen oksida. Dari literatur menunjukkan reaktor komersial yang beroperasi pada suhu 190°C-200°C dengan tekanan 14-22 atm, tergantung pada konsentrasi etilen oksida mula-mula. Campuran air-glikol dari

reaktor diumpankan pada evaporator, dimana dipanaskan dengan *steam* tekanan tinggi. Evaporator dapat beroperasi dengan tekanan vakum. Air yang teruapkan dikondensasi sebagai kondensat dan di-*recycle* ke tangki pencampur umpan glikol (atau ke seksi reaksi etilen oksida jika dikombinasi dengan oksida SD/Halcon).

Larutan *crude* glikol dari evaporator kemudian diumpankan ke *stripping* untuk memisahkan air dan fraksi ringan. Campuran glikol yang telah bebas air kemudian difraksinasi dalam kolom distilasi untuk mendapatkan produk utama berupa monoetilen glikol dan produk samping berupa dietilen glikol dan trietilen glikol. Variabel yang penting dalam proses ini adalah perbandingan air dan etilen oksida. Pembentukan dietilen glikol dan trietilen glikol dapat diperkecil dengan menggunakan air berlebih dalam jumlah besar yaitu antara 2,5-30. Proses hidrasi dengan menggunakan katalis akan dapat dioperasikan dengan temperatur dan tekanan lebih rendah. Tetapi larutan asam bersifat korosif sehingga diperlukan peralatan bahan anti korosi yang mahal (McKetta, 1984).

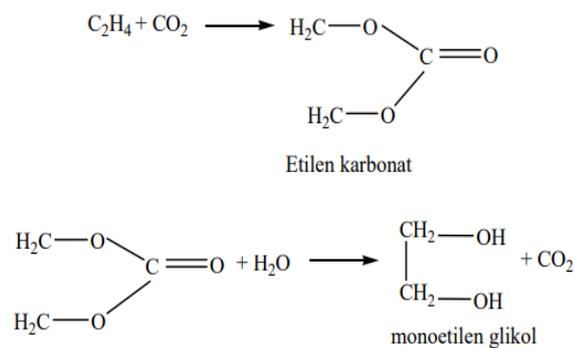
Pembentukan homolog lebih tinggi pada pembuatan etilen glikol dapat terjadi karena etilen oksida lebih cepat bereaksi dengan etilen glikol yang terbentuk daripada dengan air. *Yield* dapat ditingkatkan dengan pemberian air berlebih yaitu 20 kali lipat. Meskipun nilainya ditentukan dengan menggunakan katalis asam sulfurit juga dapat ditentukan tanpa menggunakan katalis yang dalam prakteknya hampir 90% etilen oksida dapat dirubah menjadi etilen glikol, sisa reaksi 10% bereaksi dalam bentuk homolog yang lebih tinggi. Reaktor *plug flow* lebih baik jika dibandingkan dengan CSTR dan kolom reaktor (Ullman's, 1989).

Reaktor yang digambarkan adalah reaktor adiabatik yang bekerja pada suhu 190°C-200°C dan tekanan 14-22 bar. Setelah reaksi hasil dari reaktor kemudian

dikurangi airnya dalam evaporator, air yang tidak bereaksi di-*recycle* ke reaktor. Kemudian produk dimasukkan ke dalam menara distilasi berjajar untuk memisahkan monoetilen glikol, air, dietilen glikol, dan trietilen glikol proses (McKetta, 1984).

2. Hidrasi etilen oksida melalui etilen karbonat

Pada proses ini dibuat melalui hidrasi etilen oksida melalui etilen karbonat sebagai perantara. Pada tahap pertama etilen oksida direaksikan dengan karbondioksida dalam keadaan bebas air untuk membentuk etilen karbonat lalu direaksikan dengan air membentuk etilen glikol. Reaksi ini berlangsung dalam fase cair dengan bantuan katalis. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



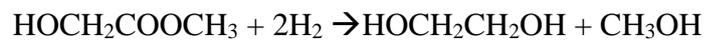
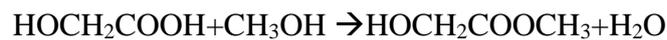
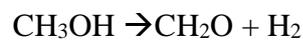
Gambar 1.1. Reaksi Etilen Oksida Melalui Etilen Karbonat

Keuntungan dari proses ini adalah jika proses dilakukan untuk membentuk dietilen glikol dalam jumlah besar, maka dibandingkan dengan proses *du pont* formaldehid lebih menguntungkan karena biaya operasi lebih murah. Sedangkan kerugiannya adalah biaya pemurnian mahal dan akan kehilangan produk karena biaya pemurnian lebih mahal dari pada proses hidrasi (McKetta, 1984).

3. Formaldehid *du pont*

Dalam proses ini formaldehid direaksikan dengan karbon monooksida dan air pada suhu 200°C dan tekanan 700 atm untuk membentuk asam glikolat

kemudian asam glikolat diesterifikasi dengan etanol atau n-propanol menghasilkan alkil glikolat. Alkil glikolat dihidrogenasi dalam fase uap pada suhu 200°C dan tekanan 30 atm menggunakan katalis kromat untuk membentuk monoetilen glikol dan alkohol. Kemudian alkohol di-*recycle* untuk tahap esterifikasi. Jika hidrogenasi dilakukan dalam fase cair maka tekanan yang digunakan adalah 400 atm dan menggunakan katalis magnesium kopper. *Yield* yang dihasilkan 75%. Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Menurut McKetta (1984) Kerugian dari proses ini adalah sebagai berikut:

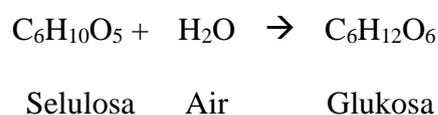
- a. Proses yang terjadi di reaktor memerlukan suhu dan tekanan tinggi sehingga proses menjadi tidak efisien dan mahal
- b. *Yield* yang dihasilkan rendah
- c. Biaya mahal
4. Hidrolisis menggunakan selulosa

Pada proses hidrolisis etilen oksida, distribusi produk pada reaktor tidak begitu terpengaruh oleh suhu dan tekanan pada kisaran suhu 200°C dan tekanan 50 atm. Distribusi produk secara substansional sama antara reaksi katalik. Di mana bila dengan katalis basa hasil glikol derajat tinggi akan meningkat atau lebih tinggi bila dibandingkan dengan katalis asam. Kecepatan reaksi hidrolisis sangat dipengaruhi oleh suhu katalis asam. Efektifitas basa sekitar 1/100 dibandingkan dengan asam

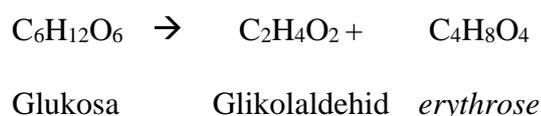
pada konsentrasi yang sama dalam reaksi hidrolisis. Pemakaian katalis asam dalam reaktor hidrolisis memungkinkan untuk dioperasikan pada suhu dan tekanan relatif lebih rendah dibandingkan reaksi non katalis, tetapi membuat larutan sangat korosif dan membutuhkan peralatan anti korosif yang harganya mahal. Bahan baku tandan kosong kelapa sawit dan air dicampur bersama-sama dipompa ke reaktor hidrolisis setelah dinaikkan suhu. Dengan menggunakan proses non katalik, waktu tinggal dalam reaktor cukup lama. Tekanan operasi dikontrol untuk menghindari penguapan etilen oksida. Campuran air-glikol dari reaktor diumpungkan ke dalam *mixing tank* untuk mengencerkan konsentrasi dengan menggunakan *demineralized water*. Dalam produksi etilen glikol dengan menggunakan bahan baku selulosa memiliki keunggulan sumber daya alam dapat diperbaharui (*renewable resources*), proses murah, dan konversi tinggi (Patent US 9783472 B2, 2017)

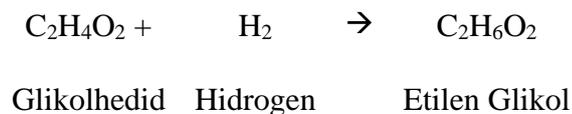
Berikut ini merupakan reaksi yang terjadi dalam reaktor pada pembentukan etilen glikol. Reaksi pertama merupakan reaksi hidrolisis selulosa dan air, sedang untuk reaksi kedua adalah pembentukan glikolaldehid, dan ketiga adalah reaksi pembentukan etilen glikol. Reaksi dalam pembentukan etieln glikol adalah sebagai berikut:

Reaksi I:



Reaksi II:



Reaksi III:**1.4 Sifat Fisika dan Kimia****1.4.1 Bahan Baku****1. Tandan Kosong Kelapa Sawit**

Spesifikasi kandungan bahan baku tandan kosong kelapa sawit disajikan dalam tabel 1.2.

Tabel 1.2. Kandungan Tandan Kosong Kelapa Sawit

Kandungan	Kandungan (%)
Selulosa	37,6
Hemiselulosa	23,9
Lignin	38,5

(Sumber: Athanasia *et al*, 2018)

Tabel 1.3. Spesifikasi Kandungan Fisik Tandan Kosong Kelapa Sawit

Parameter	Bagian Pangkal	Bagian Ujung
Panjang Serat	a. 0,63	a. 0,63
a. Minimum, mm	b. 0,81	b. 0,81
b. Maksimum, mm	c. 0,2	c. 0,2
c. Rata-rata (L), mm		
Diameter serat (D), μm	15,01	14,34
Tebal dinding, μm	3,49	3,68
Kelangsingan (L/D)	79,95	53,00
Kelemasan	0,54	0,49
Kadar serat	72,67	67,42
Kadar bukan serat %	27,33	37,53
Rapat massa tumpukan serpih (campuran) (kg/m^3)		177,98

(Sumber: Darnoko *et al*, 1995; Erwiansyah *et al*, 2012)

Tabel 1.4. Analisis Ultimat dan Proksimat Tandan Kosong Kelapa Sawit

<i>Ultimate analysis</i>	(wt%)
<i>Carbon</i>	43,52
<i>Hydrogen</i>	5,72
<i>Nitrogen</i>	1,20
<i>Sulfur</i>	0,66
<i>Oxygen (diff)</i>	48,90
<i>Stoichiometric air/fuel ratio (kg/kg)</i>	4,84
<i>Proximate Analysis</i>	(wt.%)
<i>Moisture</i>	7,8
<i>Volatiles</i>	79,34
<i>Ash</i>	4,5
<i>Fixed Carbon</i>	8,36
<i>HHV, MJ/kg (dry basis)</i>	15,22

(Sumber: Gaol, 2018)

2. Lignin

Tabel 1.5. Spesifikasi Lignin

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	$C_9H_{10}O_3$
Berat molekul	166 g/mol
Bentuk	Cairan
Densitas	0,9308 g/ml
Viskositas	1,4565 Ns/m ²
Kadar air	3,07%
Titik didih normal	232°C

(Sumber: Suhartati *et al*, 2016)

3. NaOH

Tabel 1.6. Spesifikasi Bahan Pendukung Natrium Hidroksida

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	NaOH
Berat molekul	40 g/mol
Bentuk	Cairan
Titik didih normal	140°C
Titik leleh	12°C
<i>Specific gravity</i>	1,53
Warna	Tidak berwarna
Kemurnian	55%
Kelarutan	Larut dalam air

(Sumber: Yaws, 1999)

4. H₂O

Tabel 1.7. Spesifikasi Bahan Pendukung H₂O

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	H ₂ O
Berat molekul	18,015 g/mol
Bentuk	Cairan
Warna	Jernih
Titik didih normal	100°C
Titik beku	0°C
Densitas	0,998 g/ml
Viskositas	8,949 mP (pada 1 atm)
Tekanan uap	0,0212 atm
Panas Penguapan	22,6105 kJ/mol
Panas pembentukan	6,013 kJ/mol

(Sumber: Kirk, 1968)

5. Amoniak (NH₃)

Tabel 1.8. Spesifikasi Bahan Pendukung Amoniak

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	NH ₃
Berat molekul	17,0305 g/mol
Bentuk	Cairan
Titik didih normal	-33,4 °C
Titik lebur	-77,7 °C
Densitas	0,7708 g/ml
Viskositas	8,949 mP (pada 1 atm)
Tekanan kritis	1657 psi
Panas spesifik	1,310 kJ/mol

(Sumber: Kirk and Othmer, 1991)

1.4.2 Katalis

1. Katalis Nikel

Tabel 1.9. Spesifikasi Bahan Pendukung Nikel

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	Ni
Bentuk	Padat
Warna	Putih Keperakan
Titik leleh	1.420 °C, 1.693K
Titik didih	2.900 °C, 3.173 K
Kategori Unsur	Logam Transisi
Konfigurasi elektron	[Ar] 3d ⁸ 4s ²

(Sumber: Admi *et al.*, 2020)

1.4.3 Produk

1. Produk Utama

Etilen Glikol

Etilen glikol sebagai produk akhir dalam rancangan pabrik digunakan sebagai bahan baku industri kimia. Etilen glikol dapat digunakan sebagai anti beku pada radiator kendaraan bermotor, Sebagai bahan baku poliester dan *poliester tereftalat* (PET), digunakan untuk resin alkid dan resin polyester untuk cat, untuk membantu pada proses penggilingan semen, sebagai bahan untuk mengurangi lapisan es yang ada di kaca depan dan sayap pada pesawat, dan untuk menghentikan terbentuknya amonia perborat pada kapasitor elektrolit (Faith, 1975).

Tabel 1.10. Spesifikasi Produk Utama Etilen Glikol

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	$C_2H_6O_2$
Berat molekul	62,068 g/mol
Bentuk	Cairan
Titik didih normal	197,6°C
Titik beku	-13°C
Titik leleh	-12,9°C
<i>Spesific gravity</i>	1,115

(Sumber: Perry, 1997)

2. Produk Samping

Erythrose

Erythrose adalah sakarida tetrose dengan rumus kimia $C_4H_8O_4$. *Erythrose* memiliki satu kelompok aldehida bagian dari keluarga aldosa. *Erythrose* berperan sebagai bahan baku industri komestik dan kesehatan.

Tabel 1.11. Spesifikasi Produk Samping *Erythrose*

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	$C_4H_8O_4$
Berat molekul	120.104 g/mol
Bentuk	Cairan
Jumlah berat atom	8
Titik didih	311,1°C
Titik leleh	-12,9°C
Kelarutan dalam H ₂ O	Sangat larut

(Sumber: *National Center for Biotechnology Information*, 2021)