

BAB I

PENDAHULUAN

I. Latar Belakang

Silitol merupakan gula alkohol (polyol) yang banyak dikembangkan sebagai pemanis rendah kalori terutama untuk produk pangan dan farmasi, dengan standar food grade karena penggunaannya umumnya sebagai bahan tambahan makanan, permen karet, produk *bakery*, dan formulasi kesehatan mulut (pasta gigi dan obat kumur) [1]. Tingginya minat terhadap silitol didasarkan pada manfaatnya yang memiliki tingkat kemanisan menyerupai sukrosa namun dengan indeks glikemik rendah serta silitol menghambat pertumbuhan *Streptococcus mutans* penyebab karies, mengurangi plak hingga 59%, selain itu, meningkatkan remineralisasi enamel dengan stimulasi saliva kaya kalsium/fosfat, menurunkan risiko otitis media, dan radang mulut, menjadikannya unggulan di pasta gigi (25%), permen karet (1-100%), serta mouthwash [2]. Dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pola hidup sehat serta kebutuhan industri untuk mencari bahan pemanis yang aman, tren konsumsi silitol diperkirakan akan terus meningkat dalam dekade mendatang.

Pemilihan bahan baku merupakan aspek krusial dalam perancangan proses dan desain pabrik silitol karena sangat memengaruhi aspek teknis, ekonomi, serta keberlanjutan lingkungan. Produksi silitol umumnya menggunakan bahan baku kayu *eucalyptus*, tandan kosong kelapa sawit, bagas tebu, jerami padi, atau kayu ek (N. L. Mohamad et al., 2014). Namun, meningkatnya kesadaran terhadap pemanfaatan limbah agroindustri mendorong eksplorasi bahan baku alternatif yang lebih melimpah, bernilai ekonomis rendah, dan tidak bersaing dengan kebutuhan pangan. Dalam konteks tersebut, pemanfaatan tongkol jagung sebagai bahan baku silitol menawarkan solusi pemanfaatan limbah agroindustri yang bernilai tinggi, namun proses konversi xilosa menjadi silitol secara fermentatif masih menghadapi sejumlah kelemahan seperti selektivitas yang terbatas (70–80%), ketergantungan pada detoksifikasi mahal, serta masalah produktivitas akibat adanya inhibitor seperti furfural dan fenolik pada hidrolisat [3], sebaliknya, hidrogenasi menggunakan katalis Raney-Ni mampu menghasilkan selektivitas jauh lebih tinggi (mencapai 95–99%) dengan waktu reaksi singkat dan lebih mudah ditingkatkan ke skala

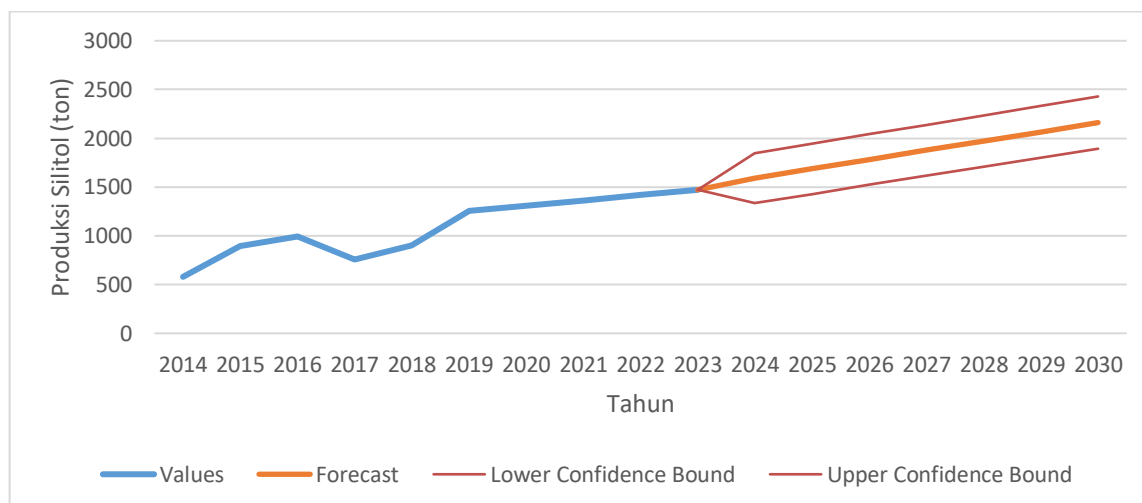
industri, namun memerlukan perhatian khusus terkait risiko *pyrophoric*, deaktivasi katalis, dan potensi kontaminasi nikel ke limbah [4]. Novelty desain pabrik yang diusulkan adalah integrasi pretreatment berlapis (*dilute-acid*) untuk meminimalkan inhibitor dikombinasikan dengan reaktor hidrogenasi Raney-Ni berbasis sistem tertutup sekaligus unit pemulihan Ni untuk menekan beban lingkungan dan biaya operasional jangka panjang.

Pabrik silitol berbahan baku tongkol jagung ini direncanakan dibangun pada tahun 2030, sejalan dengan proyeksi peningkatan permintaan pemanis rendah kalori global serta kesiapan teknologi pretreatment dan hidrogenasi berbasis Raney-Ni yang diperkirakan telah lebih matang dan ekonomis pada periode tersebut. Kapasitas produksi yang direncanakan adalah 27.000 ton silitol *food-grade* per tahun, dengan lokasi pembangunan di Jawa Timur, dipilih karena merupakan salah satu sentra produksi jagung nasional sehingga pasokan tongkol jagung lebih stabil, tersedia infrastruktur industri, serta dekat jalur logistik pelabuhan untuk mempermudah distribusi bahan baku maupun produk jadi. Proses produksi dirancang kontinyu, karena lebih sesuai untuk kapasitas besar, memudahkan pengendalian kualitas, dan meningkatkan ekonomi proses dibanding sistem batch yang lebih umum pada fermentasi skala kecil. Dengan demikian, kombinasi ketersediaan bahan baku, kesiapan teknologi, permintaan pasar yang meningkat, serta keunggulan proses kontinyu mendukung kelayakan pendirian pabrik silitol ini pada tahun 2030.

II. Analisa Pasar dan Kapasitas Produksi

Berdasarkan data dari Gambar I.1 impor silitol Indonesia pada 2014–2023, terlihat tren peningkatan kebutuhan nasional yang ditunjukkan oleh pertumbuhan nilai impor yang terus meningkat setiap tahun. Hasil peramalan pada grafik menunjukkan bahwa impor silitol diproyeksikan terus naik hingga tahun 2030, dengan batas kepercayaan memperlihatkan kisaran pertumbuhan yang stabil. Hal ini sejalan dengan meningkatnya konsumsi silitol di industri hilir seperti permen karet, pasta gigi, dan produk kesehatan oral, di mana konsumsi nasional tercatat mencapai 39.230 ton/tahun dan masih dipenuhi dengan impor sebesar 1.471,51 ton. Maka dari itu, estimasi kebutuhan pasar setelah dikurangi oleh impor mencapai 37.758,49 ton, menunjukkan adanya peluang besar bagi pendirian pabrik baru untuk mengurangi ketergantungan impor dan memenuhi permintaan

domestik. Jika kapasitas produksi nasional tersedia, maka nilai tersebut dapat diubah menjadi pasar penyerapan domestik yang signifikan dan mengurangi aliran devisa keluar.



Gambar I.1 Grafik Forecast Import Silitol

Tabel I.1 Data Kapasitas Produksi Pabrik yang Menggunakan Bahan Baku Silitol per Tahunnya

No.	Nama Pabrik	Kapasitas Produksi Pabrik (ton/tahun)	Konsumsi silitol (ton / tahun)	Ref
1.	PT. Lotte Indonesia	10.200 ton/tahun permen karet	6.630	[5]
2.	PT. Enzym Bioteknologi	8.400 ton/tahun pasta gigi	4.200	[6]
3.	PT. Lion Wings	30.000 ton/tahun pasta gigi	15.000	[7]
4.	PT. Citra Nusa Insan Cemerlang	26.800 ton/tahun pasta gigi	13.400	[8]

Dari data produksi pada Tabel I.1 dapat diprediksi konsumsi silitol pertahunnya dengan perhitungan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Konsumsi silitol pada permen karet Lotte} &= 65\% \times 10.200 \text{ ton/tahun} \\
 &= 6.630 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Konsumsi silitol pada pasta gigi Enzim	= $50\% \times 8.400 \text{ ton/tahun}$
	= 4.200 ton/tahun
Konsumsi silitol pada permen karet Lotte	= $50\% \times 30.000 \text{ ton/tahun}$
	= 15.000 ton/tahun
Konsumsi silitol pada pasta gigi Enzim	= $50\% \times 26.800 \text{ ton/tahun}$
	= 13.400 ton/tahun
Total Konsumsi Silitol	= 39.230 ton/tahun

Kapasitas produksi pabrik pembuatan silitol yang akan didirikan pada tahun 2030

Dengan perhitungan sebagai berikut:

Impor	: 1.471,5120 ton
Ekspor	: 0 ton
Konsumsi	: 39.230 ton
Produksi	: 0 ton

Demand	= Ekspor + Konsumsi
Supply	= Impor + Produksi
Kekosongan pasar	= Demand – Supply
Kekosongan pasar	= Ekspor + Konsumsi – Impor + Produksi
Kekosongan pasar	= 0 + Konsumsi – Impor + 0
Kekosongan pasar	= Konsumsi - Impor
Kekosongan pasar	= 39.230 ton – 1.471,512 ton
Kekosongan pasar	= 37.758,488 ton
Kekosongan pasar	= 37.758,488 ton

Tabel I. 2 Data Produksi Silitol secara Global

No.	Nama Pabrik	Negara	Kapasitas (ton/tahun)	Ref
1.	Xlear Inc.	Amerika	50.000	[9]
2.	Roquette Asia Pacific	Singapura	10.000	[10]
3.	Futaste	China	35.000	[11]
4.	Zhejiang Huakang Pharmaceutical	China	10.000	[12]
Kapasitas produksi rata-rata			27.000	

Dapat terlihat dari Tabel I.2 bahwa kapasitas produksi silitol secara global berada pada kisaran 10.000–50.000 ton per tahun. Oleh karena itu, penentuan kapasitas produksi pabrik silitol berbasis tongkol jagung ini mengacu pada kapasitas produksi rata-rata industri silitol dunia, yaitu sekitar 27.000 ton per tahun. Dengan demikian, kapasitas produksi pabrik silitol yang direncanakan berdasarkan estimasi kebutuhan pasar pada tahun 2023 berada dalam rentang kapasitas produksi pabrik silitol skala internasional.

III. Kebaruan Produk/Proses

Kebaruan desain pabrik ini terletak pada pemanfaatan tongkol jagung sebagai bahan baku utama untuk menghasilkan silitol, di mana limbah agroindustri ini biasanya tidak dimanfaatkan dan sering kali hanya dibakar atau dibuang, padahal mengandung kadar hemiselulosa yang tinggi dimana sekitar 85% fraksi hemiselulosa terdiri atas xilan yang dapat dikonversi menjadi xylosa dan selanjutnya dihidrogenasi menjadi silitol (Rivas et al., 2020). Pemanfaatan biomassa lokal ini mendukung konsep bioindustri berkelanjutan sekaligus mengurangi ketergantungan pada bahan baku impor seperti kayu birch yang umum digunakan produsen global. Dari aspek proses, rancangan ini menggunakan rute hidrogenasi xylosa dengan katalis Raney Ni yang memiliki selektivitas reaksi tinggi dan mampu menghasilkan silitol food grade dengan kemurnian lebih dari 98%, serta lebih efisien dibandingkan proses fermentasi mikroba yang cenderung memiliki konversi lebih rendah dan waktu produksi lebih lama (Morales et al., 2018).

Tabel I.3 Tabel Perbandingan Katalis Untuk Konversi Silosa Menjadi Silitol

Katalis	Selektivitas	Proses		Ref.
		Suhu (°C)	Tekanan	
Raney Ni	98%	100-140	3-40 MPa	[4]
Ni-Re bimetalik	95%	140	Rendah	[3]
Cu-Ni/SiO ₂	90%	100	3 MPa	[13]

Dari tabel I.3, raney Ni unggul sebagai katalis industri standar karena ketersediaan murah dan performa terbukti di skala besar, mencapai konversi xylosa hampir 98% dengan yield silitol optimal pada kondisi sedang (140°C, 40 Mpa H₂, 3% katalis). Meski ada isu deaktivasi akibat leaching, varian foam atau promoted (misalnya NiMo) meningkatkan stabilitas untuk operasi kontinu, menjadikannya lebih efisien daripada fermentasi mikroba. Pilihan ini selaras dengan desain pabrik yang menekankan efisiensi dan pengurangan dampak lingkungan melalui proses cepat. Dengan demikian, kebaruan desain tidak hanya terletak pada substitusi bahan baku berbasis impor ke sumber lokal, tetapi juga pada peningkatan efisiensi proses, pengurangan dampak lingkungan, dan optimalisasi rantai pasok berbasis sumber daya domestik.

IV. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan dalam pabrik silitol merupakan limbah dari tongkol jagung. Pemilihan tongkol jagung didasarkan pada kandungan hemiselulosa yang cukup tinggi sehingga dapat dikonversikan menjadi silosa melalui proses hidrolisis dan selanjutnya dihidrogenasi menjadi silitol.

Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi jagung pipilan kering Indonesia pada tahun 2014 mencapai 15,14 juta ton, sedangkan Provinsi Jawa Timur merupakan produsen jagung terbesar nasional dengan produksi sekitar 4,49 juta ton. [<https://www.bps.go.id/id/publication/2025/08/15/2bb49a0af17ec89ac16971de/luas-panen-dan-produksi-jagung-di-indonesia-2024.html>]. Tongkol jagung pada umumnya menyumbang sekitar 18-20% [Yadav et al. (2022); Mussatto & Roberto (2004)] berat jagung utuh setelah pemipilan. Dengan menggunakan asumsi sebesar 18%, maka potensi limbah tongkol jagung di Jawa Timur dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Limbah tongkol jagung} = 0,18 \times 4.494.968,78 = 809.094 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

Dengan demikian, potensi limbah tongkol jagung yang tersedia di Jawa Timur diperkirakan mencapai 809.000 ton/tahun []. Sementara itu, berdasarkan neraca massa pabrik, kebutuhan tongkol jagung sebesar 245.694 ton/tahun.

Presentase kebutuhan bahan baku terhadap potensi limbah tongkol jagung Jawa Timur sebesar 30,37%. Hal tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan bahan baku pabrik hanya 30,37% dari total potensi limbah tongkol jagung Jawa Timur, sehingga ketersediaan bahan baku masih mencukupi untuk mendukung berjalannya pabrik ini secara berkelanjutan.

Supplier Bahan Baku

Supplier limbah tongkol jagung dapat diperoleh dari sentra produksi jagung terbesar di Jawa Timur, seperti:

Tabel I. 4 Data Produksi Limbah Tongkol Jagung di Daerah Jawa Timur

Kabupaten	Produksi Jagung (ton/tahun)	Potensi tongkol jagung (18%)	Ref.
Tuban	614.810	110.666	[17]
Lamongan	582.662	104.879	[18]
Jember	498.644	89.756	[19]

Tabel 1. 1 Industri Pengguna Pipilan Jagung Sebagai Bahan Baku di Jawa Timur

Industri	Kapasitas Produksi (Ton Jagung/ Tahun)	Ref
PT Cargil Indonesia (Corn Wet Mill Plant)	1.277	[10]
PT Daesang Ingredients Indonesia (Miwon)	86.000	[11]
PT Kediri Matahari Corn Mills	50.000	[12]
PT Charoen Pokphand Indonesia Tbk-Sidoarjo	100.000	[15]
PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk-Sidoarjo & Surabaya	4.600.000	[13]
PT Malindo Feedmill Tbk-Gresik	450.000	[18]
PT New Hope Indonesia – Sidoarjo & Mojokerto	30.000	[17]
Total	5.317.227	

Berdasarkan data pada Tabel 1.5, total kapasitas produksi dari pabrik-pabrik pengolahan jagung dan pakan ternak (feedmill) di Jawa Timur mencapai 5.317.227 ton per tahun. Angka yang sangat besar ini menunjukkan bahwa industri berbasis jagung di Jawa Timur berkembang sangat pesat. Namun, di sisi lain, tingginya jumlah produksi ini juga

berpotensi menghasilkan limbah sisa dalam jumlah yang besar, salah satunya adalah tongkol jagung kosong.

Untuk menghitung perkiraan jumlah limbah tongkol jagung yang dihasilkan, penelitian ini menggunakan standar persentase berat bagian jagung. Menurut teori, dari total berat satu gelondong jagung utuh yang sudah dikupas, berat tongkol kosongnya adalah sekitar 25%, sedangkan 75% sisanya adalah biji jagung pipilan (Sitorus & Tambunan, 2023).

Dengan menggunakan rumus tersebut, potensi limbah tongkol jagung dari total kapasitas industri (5.317.227 ton) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Potensi tongkol jagung} &= 5.317.227 \times 25\% \\ &= 1.329.306,75 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh potensi limbah tongkol jagung sebanyak 1.329.306,75 ton per tahun dimana penggunaan untuk produksi silitol adalah 243.254,88 ton per tahun (berdasarkan perhitungan dari Lampiran A) sehingga limbah tongkol jagung dari pabrik-pabrik tersebut dapat menjamin kontinuitas dari produksi silitol. Jumlah yang mencapai lebih dari 1,3 juta ton ini tentu memerlukan perhatian khusus. Jika limbah ini dibiarkan begitu saja atau hanya dibakar di lahan terbuka, hal tersebut dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti polusi udara dan penumpukan sampah di sekitar pabrik (Putra dkk., 2022).

Meski demikian, jumlah limbah yang melimpah ini sebenarnya memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan kembali agar memiliki nilai ekonomi. Tongkol jagung mengandung serat kasar yang tinggi (selulosa dan hemiselulosa), sehingga sangat cocok diolah menjadi bahan bakar alternatif seperti briket arang, bahan pembuatan biogas, atau campuran pakan ternak alternatif (Wahyudi, 2024). Dengan mengetahui perkiraan jumlah limbah sebesar 25% ini, industri dapat merencanakan sistem pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan dan bermanfaat.

V. Sifat Fisika dan Kimia

i. Bahan Baku

1. Jagung

Tongkol jagung merupakan bahan baku utama dalam pembuatan silitol pada prarancangan pabrik ini. Tongkol jagung adalah limbah hasil samping dari proses pemipilan jagung dan dapat mencapai sekitar 15–25% dari total berat jagung setelah panen [14]. Limbah ini tersedia dalam jumlah besar di Indonesia karena produksi jagung nasional sangat tinggi setiap tahun. Tongkol jagung memiliki kandungan lignoselulosa yang terdiri atas beberapa komponen utama. Hemiselulosa pada tongkol jagung tergolong tinggi, menjadikannya sumber xilosa ideal untuk bahan baku silitol. Berikut ini Tabel I.5 merupakan komposisi lignoselulosa dari tongkol jagung.

Tabel I. 5 Komposisi Tongkol Jagung

Komponen	% Massa
Selulosa	32–35%
Hemiselulosa	28–35%
Lignin	15–22%
Air	8–12%
Abu	1–3%

Hemiselulosa pada tongkol jagung kemudian dihidrolisis menjadi xilosa, dan xilosa ini digunakan sebagai prekursor dalam sintesis silitol [14].

2. Asam Sulfat (H_2SO_4)

Asam sulfat digunakan dalam proses hidrolisis untuk memecah struktur hemiselulosa menjadi xilosa. Asam sulfat berfungsi sebagai katalis asam yang efektif dalam proses pemutusan ikatan kimia lignoselulosa [15]. Konsentrasi asam yang digunakan harus dikontrol untuk mencegah degradasi xilosa. Sifat fisika dari asam sulfat akan ditampilkan pada Tabel I.5

Tabel I.6 Sifat Fisika dan Kimia Asam Sulfat (H_2SO_4)

Sifat Fisika	Keterangan
Rumus molekul	H_2SO_4
Berat molekul	98,078 g/mol
Bentuk	Cair
Bau	Jernih
Warna	Menyengat
Titik lebur pada 1 atm ($^{\circ}\text{C}$)	10
Titik didih pada 1 atm ($^{\circ}\text{C}$)	290

Densitas pada 25°C	1,84 g/cm ³
--------------------	------------------------

3. Natrium Hidroksida (NaOH)

NaOH digunakan pada tahap penetralan setelah proses hidrolisis asam untuk menyesuaikan pH larutan menjadi netral dan mencegah reaksi kimia lanjutan yang merusak xilosa [14]. Sifat fisika dari hidroksida akan ditampilkan pada Tabel I.6

Tabel I. 7 Sifat Fisika dan Kimia Sodium Hidroksida (NaOH)

Sifat Fisika	Keterangan
Rumus molekul	NaOH
Berat molekul	40 g/mol
Bentuk	Padat
Bau	Tidak berbau
Warna	Putih
Titik lebur pada 1 atm (°C)	318
Titik didih pada 1 atm (°C)	1390
Densitas pada 25°C	2,13 g/cm ³

4. Hidrogen (H₂)

Gas hidrogen merupakan reagen utama dalam proses hidrogenasi xilosa menjadi silitol, di mana hidrogen berfungsi sebagai donor atom hidrogen dalam mekanisme reduksi katalitik yang mengubah gugus aldehyd pada xilosa menjadi gugus alkohol pada silitol [15]. Berikut ini Tabel 1.7 menampilkan sifat fisik dan kimia dari hydrogen

Tabel I. 8 Sifat Fisika dan Kimia Hidrogen (H₂)

Sifat Fisika	Keterangan
Rumus molekul	H ₂
Berat molekul	2,015 g/mol
Bentuk	Gas
Bau	Tidak berbau
Warna	Tidak berwarna
Titik lebur pada 1 atm (°C)	-259,1
Titik didih pada 1 atm (°C)	-252,9
Densitas pada 25°C	8,99 g/cm ³

5. Raney Nickel (Ni-Al)

Katalis logam seperti *Raney Nickel* digunakan untuk mempercepat konversi xilosa menjadi silitol dalam reaksi hidrogenasi. *Raney Nickel* memiliki selektivitas reaksi

mencapai 99% dan digunakan secara luas dalam industri hidrogenasi [4]. Berikut ini Tabel 1.8 menampilkan sifat fisik dan kimia dari *Raney Nickel*.

Tabel I. 9 Sifat Fisika dan Kimia *Raney Nickel* (Ni-Al)

Sifat Fisika	Keterangan
Komposisi	Ni-Al
Berat molekul	40 g/mol
Bentuk	Padat
Bau	Tidak berbau
Warna	Abu metalik
Densitas pada 25°C	6,8 g/cm ³
Reaktivitas	Mengikat atom hydrogen aktif pada permukaan
Bahaya	Piroforik saat kering — perlu disimpan dalam air

6. Air (H₂O)

Air digunakan untuk pelarutan hemiselulosa, proses hidrolisis asam, pembentukan slurry bahan baku, pencucian, pendinginan, hingga penjernihan. Kualitas air harus memenuhi standar proses untuk mencegah kontaminasi [15]. Berikut ini Tabel 1.9 menampilkan sifat fisik dan kimia dari air

Tabel I. 10 Sifat Fisika dan Kimia Air (H₂O)

Sifat Fisika	Keterangan
Rumus molekul	H ₂ O
Berat molekul	18,015 g/mol
Bentuk	Cair
Bau	Tidak berbau
Warna	Tidak berwarna
Titik lebur pada 1 atm (°C)	0
Titik didih pada 1 atm (°C)	100
Densitas pada 25°C	0,997 g/cm ³

7. Sifat Kimia Silitol

Pabrik yang didesain memiliki produk utama berupa silitol yang dikemas dalam bentuk Kristal padat dengan kemurnian *food-grade*. Selain itu, terdapat beberapa produk samping yang bernilai jual seperti natrium sulfat, lignin, dan gula residu (arbinosa-

glukosa) yang dapat dimanfaatkan sebagai produk samping dan bahan industry lainnya. Sifat fisika dari produk utama diberikan pada Tabel I.10.

Tabel I.11 Sifat Fisika dan Kimia Silitol

Sifat Fisika	Keterangan
Rumus molekul	$C_5H_{12}O_5$
Berat molekul (g/mol)	152,15
Bentuk	Padat
Warna	Putih
Bau	Tidak berbau
Titik lebur ($^{\circ}C$)	5
Titik didih ($^{\circ}C$)	216
Densitas pada $25^{\circ}C$ (g/mL)	1,515
Kelarutan dalam air pada $25^{\circ}C$ (g/L)	1,690