

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya zaman, industri yang berada di Indonesia juga semakin maju dan meningkat jumlahnya. Dengan tuntutan produk yang bertambah, membuat industri-industri ini membutuhkan pasokan bahan baku yang lebih banyak. Salah satu bahan baku yang sering digunakan dalam industri adalah isosorbid. Isosorbid adalah *biobased platform chemical* dengan berbagai aplikasi, seperti surfaktan, pelarut, obat-obatan, zat tambahan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan polimer, dan sebagai *monomer's plasticizer biodegradable polymers* (Dussenne *et al.*, 2017). Polimer berbasis isosorbid akan menghasilkan struktur yang kuat dan tahan terhadap penyinaran UV, panas, degradasi kimia, benturan, dan goresan. Dengan keunggulannya ini, polimer berbasis isosorbid dapat menjadi kandidat yang sangat baik untuk dimanfaatkan menjadi *packaging, electronic displays* dan material *building block* terbaru yang diperkirakan akan menjadi permintaan yang tinggi di negara-negara berkembang seperti Indonesia (Saxon *et al.*, 2020).

Banyaknya potensi yang dimiliki isosorbid pada beberapa industri, terutama pada pabrik pengolahan polimer di Indonesia, membuat produksi isosorbid juga perlu ditingkatkan. Namun, hingga saat ini tidak ada perusahaan di Indonesia yang memproduksi Isosorbid. Oleh karena itu, dengan didirikannya pabrik isosorbid ini akan menguntungkan perekonomian Indonesia dengan mengurangi impor dan meningkatkan nilai ekspor. Perkiraan pasar global isosorbid yang akan meningkat dari 428,5 juta USD menjadi 703,1 juta USD pada tahun 2025 juga menjadi salah satu faktor pendukung didirikannya pabrik ini (Grand View Research, 2019). Pendirian pabrik isosorbid di Indonesia juga diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pasar nasional sehingga dapat meningkatkan pendapatan nasional.

Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia. Tingginya jumlah industri minyak sawit mentah (CPO - *crude palm oil*) di Indonesia berdampak pada banyaknya produksi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Selama ini TKKS hanya digunakan sebagai bahan bakar industri CPO dengan cara dibakar di insinerator dan pupuk oleh perkebunan sawit setempat (Rame, 2018). Pemanfaatan

pupuk ini juga dianggap tidak efisien karena pembuatan pupuk memerlukan jangka waktu yang panjang yaitu 6 hingga 12 bulan. Minimnya pemanfaatan TKKS di Indonesia, membuat rasio perbandingan TKKS yang dihasilkan dan yang digunakan tidak seimbang. Hal ini berdampak pada rendahnya nilai TKKS, pembuangan TKKS besar-besaran yang berakhir menjadi limbah. Sebagai limbah, TTKS memiliki kandungan utama selulosa yang tinggi, hal ini membuat TKKS menjadi kandidat yang baik sebagai bahan baku terbarukan untuk memproduksi isosorbid (Saba *et al.*, 2015). Oleh karena itu, pemilihan TKKS sebagai bahan baku untuk menghasilkan isosorbid akan meningkatkan nilai dari TKKS.

Pendirian pabrik isosorbid dianggap sebagai pabrik *zero carbon waste* karena pemanfaatan TKKS sebagai bahan baku terbarukan. Perkebunan kelapa sawit memanfaatkan karbon dioksida pabrik untuk tumbuh dan menghasilkan FEB yang kemudian menjadi limbah TKKS dan kembali digunakan sebagai bahan baku pabrik. Siklus ini menjadikan tingkat karbon yang dihasilkan pabrik kurang lebih terhitung nol, oleh karena itu pabrik isosorbid dapat dianggap sebagai *zero carbon waste*. Siklus pabrik isosorbid ini juga mendukung 2 regulasi Indonesia yaitu *Paris Agreement* pada tahun 2030 yang berisikan Indonesia akan mengurangi emisi karbon dioksida sebesar 29 – 41% (Dunne, 2019; Purnomo Yusgiantoro Center, 2021) dan *clean from waste* Indonesia pada 2025 yang berisi pengurangan 30% limbah kemudian memproses dan mengolah 70% limbah negara (Bahraini, 2018).

Tujuan utama pendirian pabrik ini adalah untuk menghasilkan isosorbid dari TKKS sebagai bahan baku terbarukan dengan biaya lebih rendah sebagai pabrik *zero carbon waste*. Tujuan lain dari pendirian pabrik ini adalah untuk memenuhi kebutuhan pasar isosorbid yang dapat meningkatkan pendapatan ekonomi dan meningkatkan nilai TKKS.

I.2. Sifat-Sifat Bahan Baku dan Produk

I.2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit

Menurut hasil Badan Pusat Statistik, Indonesia merupakan negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia dengan total produksi CPO dapat mencapai 36,5 juta ton/tahun. Tingginya jumlah CPO yang dihasilkan juga meningkatkan limbah yang dihasilkan. TKKS merupakan hasil limbah padat dari pengolahan tandan buah segar

(FFB - *fresh fruit bunch*) menjadi CPO. Morfologi dan komposisi fisik dari TKKS dapat dilihat pada Gambar I.1. dan Tabel I.1.



Gambar I. 1 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tabel I. 1 Komposisi Fisik TKKS (Nuryanto, 2012)

No.	Parameter	TKKS (batas bawah)	TKKS (batas atas)
1.	Panjang serat		
	Minimum (mm)	0,46	0,63
	Maximum (mm)	0,27	0,81
	Rata-rata (mm)	0,76	1,20
2.	Diameter serat (μm)	14,34	15,01
3.	Diameter lumen (μm)	6,99	8,04
4.	Tebal dinding (μm)	3,49	3,68
5.	Kadar serat (%)	72,67	62,47
6.	Kadar bukan serat (%)	27,33	37,53
7.	Rapat massa tumbukan serpih (<i>bulk density</i>) (kg/m^3)		177,98

Meskipun dikategorikan sebagai limbah, TKKS memiliki potensi menjadi bahan baku suatu industri. Hal ini dikarenakan TKKS merupakan salah satu biomassa lignoselusa yang mengandung selulosa, lignin, dan hemiselulosa. Komposisi kimia dan komponen organik dari TKKS dapat dilihat pada Tabel I.2. dan Tabel I.3.

Tabel I. 2 Komposisi Kimia TKKS (Saba *et al.*, 2015)

Komposisi	% wt
Selulosa	43,7%
Hemiselulosa	29,02%
Lignin	13,33%
Abu	3,31%
Air	10,64%

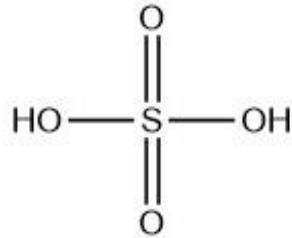
Tabel I. 3 Komposisi komponen organik TKKS (Akhmad Fauzi, 2004)

Komponen	Serat (%)	TKKS (%)	Komponen	Serat (%)	TKKS (%)
Glukan	21,9	21,3	Fe ₂ O ₃	3,9	1,8
Xilan	15,5	11,7	CaO	7,2	3,3
Arabian	1,6	1,2	MgO	3,8	2,9
Galaktan	0	0	Na ₂ O	0,8	0,8
Mannan	0	0	K ₂ O	9,0	40,1
Rhamrian	0	0	TiO ₂	0,2	0,1
Nitrogen	0,61	0,66	P ₂ O ₅	2,8	2,5
Lignin	23,4	15,6	SO ₃	2,8	8,0
<i>Hot water extraction</i>	10,9	20,0	CO ₂	2,2	0,1
Abu (5000°C)	5,1	7,9	SiO ₂	63,2	34,7
Ekstraksi Benzene (Alkohol)	11,2	10,5	Kalor baker kkal/kg (<i>free water</i>)	4.586	4.888

I.2.2. Asam Sulfat (H₂SO₄)

Asam sulfat merupakan asam anorganik yang terdiri dari dua gugus okso dan dua gugus hidroksi yang bergabung secara kovalen dengan atom sulfur pusat seperti pada Gambar I.2. Asam sulfat berbentuk seperti cairan berminyak yang tidak berwarna dan tidak memiliki bau. Asam sulfat akan melepaskan panas (eksotermis) saat

dilarutkan ke dalam air. Paparan asam sulfat jangka pendek pada konsentrasi rendah maupun tinggi dapat mengakibatkan efek yang buruk bagi kesehatan. Selain karena sifatnya yang korosif asam sulfat yang bersifat karsiogenik bagi manusia (PubChem, 2020). Sifat fisik dan kimia senyawa asam sulfat dapat dilihat pada Tabel I.4.



Gambar I. 2 Struktur Kimia Asam Sulfat

Tabel I. 4 Sifat Fisik dan Kimia Asam Sulfat (PubChem, 2020)

Karakteristik	Keterangan
Nama	<i>Sulphuric acid</i>
Rumus Molekul	H ₂ SO ₄
Berat Molekul	98,08 g/mol
Titik Leleh	10.31 °C
Titik Didih	337 °C
Massa Jenis	1797,4 kg/m ³
Solubilitas	Larut dalam air dan alkohol

I.2.3. Kalsium Oksida (CaO)

Kalsium Oksida merupakan padatan putih atau abu-abu dan tidak berbau. Terdiri dari kalsium dan oksigen dengan perbandingan 1:1, berperan sebagai pupuk dan insektisida. Kalsium oksida bersifat korosif dan mampu menimbulkan iritasi berat pada kulit, mata, dan selaput lendir (PubChem, 2022a). Sifat fisik dan kimia senyawa kalsium oksida dapat dilihat pada Tabel I.5.

Tabel I. 5 Sifat Fisik dan Kimia Kalsium Oksida (PubChem, 2022a)

Karakteristik	Keterangan
Nama	<i>Calcium oxide</i>
Rumus Molekul	CaO
Berat Molekul	56,08 g/mol

Karakteristik	Keterangan
Titik Leleh	2613°C
Titik Didih	2850°C
Massa Jenis	3,3 g/mL @25°C
Warna	Abu-abu atau putih
Form	Kristal, gumpalan putih atau keabuan, atau bubuk granular
Kelarutan	Larut dalam gliserol, sedikit larut dalam air, tidak larut dalam etanol

I.2.4. Hidrogen (H₂)

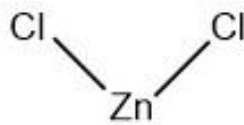
Hidrogen merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Memiliki sifat mudah terbakar dan mudah meledak. Ketika hidrogen dinyalakan, akan terbakar dengan api berwarna biru pucat yang nyalanya hampir tak terlihat. Uap hidrogen lebih ringan dari udara dan mampu bereaksi dengan oksidator. Hidrogen tidak beracun akan tetapi, dapat menyebabkan sesak napas jika terhirup dikarenakan perpindahan oksigen di udara. Hidrogen sering digunakan untuk membuat bahan kimia lain dan dalam pengelasan dan pemotongan *oxyhydrogen* (PubChem, 2022c). Sifat fisik dan kimia senyawa hidrogen dapat dilihat pada Tabel I.6.

Tabel I. 6 Sifat Fisik dan Kimia Hidrogen (PubChem, 2022c)

Karakteristik	Keterangan
Nama	<i>Hydrogen</i>
Rumus Molekul	H ₂
Berat Molekul	2,016 g/mol
Titik Leleh	-252,762°C
Titik Didih	-259,16°C
Massa Jenis	0,082 g/L @25°C
Tekanan Uap	165.320 kPa @25°C
Bentuk	Gas tidak berbau
Kelarutan	Larut dalam air (1,62 mg/L @21°C)

I.2.5. Zinc chloride (ZnCl₂)

Zinc chloride digunakan dalam proses dehidrasi sorbitol menjadi isosorbid. Berbentuk padatan kristal tak berwarna hingga putih, tidak berbau, dan larut dalam air. Memiliki sifat sedikit korosif terhadap logam dan higroskopis yang membuat senyawa ini memiliki afinitas yang kuat terhadap kelembaban. Struktur molekul ZnCl₂ dapat dilihat pada Gambar I.3. Senyawa ini dapat menyebabkan luka bakar pada mata, kulit, maupun selaput lendir jika terpapar atau terkena dan beracun bagi lingkungan perairan dengan efek jangka panjang (PubChem, 2022d). Sifat fisik dan kimia senyawa *zinc chloride* dapat dilihat pada Tabel I.7.



Gambar I. 3 Struktur Kimia *Zinc chloride*

Tabel I. 7 Sifat Fisik dan Kimia *Zinc Chloride* (PubChem, 2022d)

Karakteristik	Keterangan
Nama	<i>Zinc chloride</i>
Rumus Molekul	ZnCl ₂
Berat Molekul	136,3 g/mol
Titik Leleh	290°C
Titik Didih	732°C
Massa Jenis	2,9 g/mL @25°C
Warna	Putih
Bentuk	Kristal higroskopis, bubuk halus atau rods
Kelarutan	432 g/100 g air @25°C; 614 g/100 g air @100°C

I.2.6. Ruthenium on Carbon (Ru/C)

Ruthenium on Carbon merupakan katalis yang digunakan dalam proses hidrogenasi katalitik. Berbentuk padatan berwarna hitam atau abu-abu tua dan tidak berbau. Dapat diaplikasikan dalam kimia organik, teknologi sel bahan bakar, dan produksi hidrogen melalui reformasi bioetanol untuk sumber energi alternatif.

Rutenium katalis dapat menyebabkan iritasi dan reaksi alergi pada kulit, iritasi pada mata, iritasi pernafasan, dapat menyebabkan kerusakan organ-organ melalui pemaparan yang berkepanjangan atau berulang, dan dapat menyebabkan kanker (American Elements, 2021). Sifat fisik dan kimia senyawa Ru/C dapat dilihat pada Tabel I.8.

Tabel I. 8 Sifat Fisik dan Kimia *Ruthenium on Carbon* (American Elements, 2021)

Karakteristik	Keterangan
Nama	<i>Ruthenium on Carbon</i>
Rumus Molekul	Ru/C
Berat Molekul	101,7 g/mol
Massa Jenis	2,26 g/mL @20°C
Warna	Hitam atau abu-abu tua
Form	Bubuk
Kelarutan	Tidak larut dalam air

I.2.7. Copper (II) chloride (CuCl₂)

Copper (II) chloride merupakan klorida anorganik dari tembaga dimana logamnya berada dalam keadaan oksidasi +2. Keadaan ini memiliki peran sebagai inhibitor EC 5.3.3.5 (*cholestenol Delta-isomerase*). Berbentuk bubuk coklat kekuningan (bentuk anhidrat) atau padatan kristal hijau (dihidrat). Bersifat korosif terhadap aluminium dan tidak mudah terbakar, akan tetapi jika dipanaskan dengan api membentuk gas hidrogen klorida. Digunakan untuk memproduksi bahan kimia lainnya, dalam pencelupan, dalam pencetakan, dalam fungisida, maupun sebagai pengawet kayu (PubChem, 2022b). Sifat fisik dan kimia senyawa CuCl₂ dapat dilihat pada Tabel I.9.

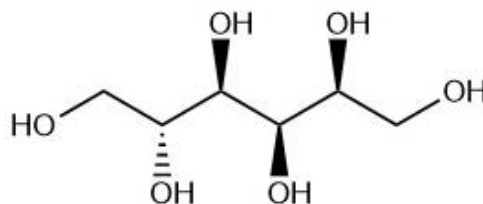
Tabel I. 9 Sifat Fisik dan Kimia *Copper(II) Chloride* (PubChem, 2022b)

Karakteristik	Keterangan
Nama	<i>Copper(II) chloride</i>
Rumus Molekul	CuCl ₂
Berat Molekul	134,45 g/mol
Titik Leleh	630°C

Karakteristik	Keterangan
Titik Didih	993°C
Massa Jenis	3,39 g/mL @25°C
Warna	Kuning hingga coklat
Form	Kristal monoklinik atau bubuk mikrokrystalin
Kelarutan	Larut dalam aseton, alkohol (53 g/100 cc alkohol @15°C) dan air (70,6 g/100 cc air @0°C; 107,9 g/100 cc air @100°C)

I.2.8. Sorbitol

Sorbitol adalah senyawa non-kariogenik dan pemanis yang tergolong dalam gula alkohol dan memiliki nama IUPAC (2R,3R,4R,5S)-hexane-1,2,3,4,5,6-hexol. Struktur molekul sorbitol dapat dilihat pada Gambar I.4. Penggunaan sorbitol sebagai pemanis aman digunakan bagi penderita diabetes dan program diet. Hal ini dikarenakan tingkat kemanisan sorbitol setara dengan 60% pemanis sukrosa dan kalori yang dimiliki sorbitol sepertiga lebih sedikit dibandingkan sukrosa (PubChem, 2021b). Sifat fisik dan kimia senyawa sorbitol dapat dilihat pada Tabel I.10.



Gambar I. 4 Struktur Kimia Sorbitol

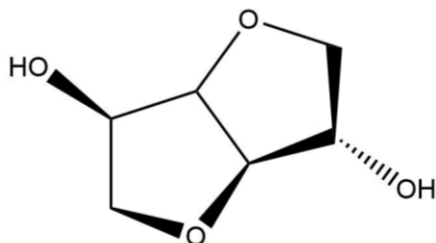
Tabel I. 10 Sifat Fisik dan Kimia Sorbitol (PubChem, 2021b)

Karakteristik Sorbitol	
Nama	<i>D-Sorbitol</i> (2R,3R,4R,5S)-hexane-1,2,3,4,5,6-hexol
Rumus Molekul	C ₆ H ₁₄ O ₆
Berat Molekul	182,17 g/mol
Titik Leleh	95°C

Karakteristik Sorbitol	
Titik Didih	295°C pada 3,5 mmHg
Massa Jenis	1,5 kg/m ³
Solubilitas	2750 g/L @30°C
Warna	Putih
Bentuk	Bubuk putih, granul, atau serpih
Kelarutan	Larut dalam air dan aseton, sedikit larut dalam etanol

I.2.9. Isosorbid

Isosorbid adalah nitrat organik yang memiliki nama IUPAC (3R,3aR,6S,6aR)-Hexahydro-furo [3,2-b] furan-3,6-diol. Isosorbid atau D-Glukosa merupakan senyawa kimia bisiklik dari gugus diol dan heterosiklik yang mengandung oksigen dan dua cincin furan yang menyatu (PubChem, 2021a). Struktur molekul isosorbid dapat dilihat pada Gambar I.9. Pada umumnya, tingkat kemurnian isosorbid *industrial grade* adalah 99% dimana dapat dilihat pada Tabel I.11. Sifat fisik dan kimia senyawa isosorbid dapat dilihat pada Tabel I.12.



Gambar I. 5 Struktur Molekul Isosorbid (Dussenne *et al.*, 2017)

Tabel I. 11 Kemurnian Isosorbid *Industrial Grade* (Alibaba, 2021)

Nama Perusahaan	% Kemurnian
Haihang Industry	100
Simagchem	99
Hebei Guanlang Biotechnology	99
Hangzhou Royall Import & Export	99

Tabel I. 12 Spesifikasi Isosorbid (PubChem, 2021a)

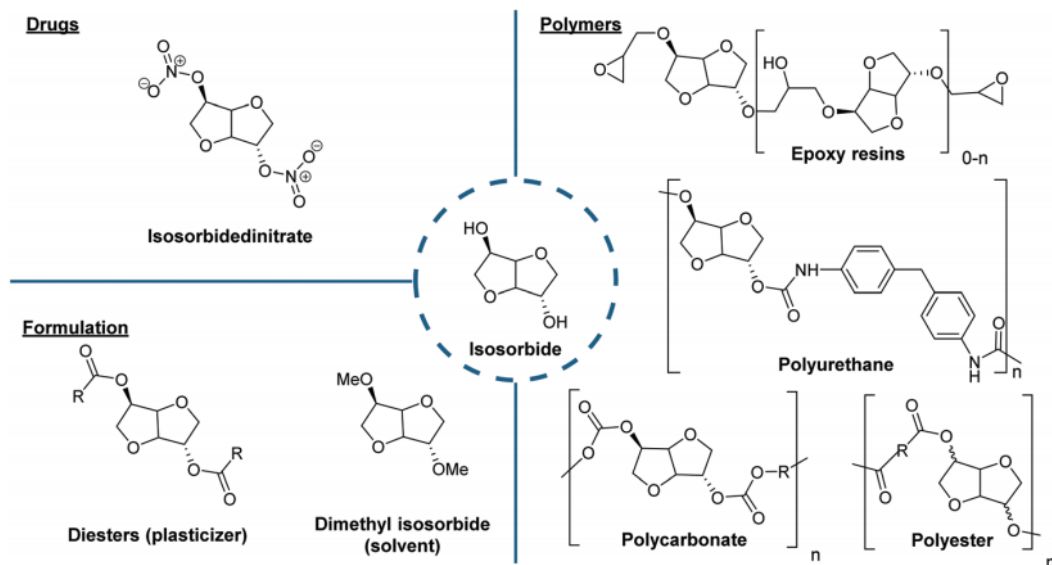
Karakteristik Isosorbid	
Nama Kimia	<i>D-Isosorbid</i> <i>1,4:3,6-Dianhydro-D-glucitol</i>
Rumus Molekul	C ₆ H ₁₀ O ₄
Berat Molekul	146,14 g/mol
Titik Leleh	60-63 °C
Titik Didih	175°C /2mmHg
Densitas	1300 kg/m ³
<i>Alpha</i>	42° (c=3, H ₂ O)
Tekanan Uap	0,007 Pa at 20°C
Solubilitas	2312 g/L at 25°C
Warna	Putih pucat hingga kuning muda atau <i>beige</i>
Kelarutan	Larut dalam alkohol, air, dan keton.
Indeks Bias	45 ° (C=5, H ₂ O)
Suhu Penyimpanan	refrigerator
Sensitivitas	Higroskopis
<i>Hydrogen bond donor count</i>	2
<i>Hydrogen bond acceptor count</i>	4
<i>Rotatable bond count</i>	0
pKa	13,17±0,40
Bentuk	Kristal, kristal padat, atau gumpalan
<i>Flashpoint</i>	193°C at 101,325 Pa
<i>Physical state (20°C)</i>	Padat (TCI)
Tegangan Permukaan	72,6 mN/m @20°C

I.3. Kegunaan dan Keunggulan Produk

I.3.1. Kegunaan Produk

Isosorbid memiliki 2 gugus hidroksil pada struktur molekulnya, dimana 2 gugus ini menjadikan isosorbid sebagai *multi-platform* bahan kimia yang serbaguna dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya terbarukan. Hingga saat ini, terdapat

berbagai macam turunan produk dari isosorbid, antara lain dapat dilihat pada Gambar I.6.



Gambar I. 6 Turunan Senyawa Isosorbid (Dussenne *et al.*, 2017)

Penggunaan isosorbid sebagai material *building block* pada berbagai industri berpotensi tinggi menggantikan bahan intermediet sintesis seperti yang ditunjukkan pada Tabel I.13. Isosorbid dapat menggantikan *bisphenol-A* untuk memproduksi poliuretan dengan sifat kekuatan mekanik yang tinggi dan memberikan ketahanan ultraviolet (UV) pada polimer (Shin *et al.*, 2019). Polimer berbasis isosorbid menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih baik karena karakteristiknya yang tidak beracun, struktur bisiklik yang kaku, dan peningkatan ketahanan panas dan mekanik dari sifat polimer (Shin *et al.*, 2019).

Tabel I. 13 Potensi Pengaplikasian Isosorbid (Grand View Research, 2021)

Aplikasi	Turunan Isosorbid	Produk Sintesis
Makanan dan Minuman	<i>Isosorbide diglycidyl</i>	<i>Bisphenol-A epoxies</i>
<i>Molding Plastics</i>	<i>Isosorbide polyurethane resins</i>	<i>Bis-A-Polyurethanes</i>
Farmasi dan Bahan Kimia	<i>Isosorbide based polyurethane</i>	<i>Polyurethane</i>
<i>Engineering resins</i>	<i>Isosorbide esters</i>	<i>Polyesters</i>

I.3.2. Keunggulan Produk

Menurut (Grand View Research, 2019), pasar polimer dan resin secara global tercatat hingga 60% pada tahun 2020. Tingginya persentase ini, dipengaruhi oleh keunggulan produk polimer (*polyurethane*, *polycarbonate*, dan *polyester*) berbasis isosorbid yang bersifat *biodegradable*, tidak beracun, dan berkualitas (Bhuvaneshwari and Reddy, 2018; Mordor Intelligence, 2021). Perbandingan kualitas polimer berbasis isosorbid dengan polimer berbasis plastik konvensional dapat dilihat dari Tabel I.14, dimana terdapat 4 karakteristik yang dapat ditinjau yaitu stabilitas termal, *glass temperature*, *degradability* dan *tensile stress*.

Stabilitas termal pada polimer mendefinisikan kemampuan dari bahan polimer untuk menahan tingkat panas dan untuk mempertahankan sifat-sifatnya, seperti kekuatan, ketangguhan atau elastisitas pada suhu tertentu, sehingga semakin tinggi jangkauan suhu dari polimer, maka ketahanan panas polimer akan semakin baik (Król-Morkisz and Pielichowska, 2019). Berdasarkan tabel perbandingan tersebut, stabilitas termal *polyurethane* yang berbasis isosorbid memiliki jangkauan suhu panas yang lebih tinggi, sehingga dapat diartikan bahwa *polyurethane* yang berbasis isosorbid memiliki kemampuan tahan panas yang baik. Perbandingan *glass temperature* akan menunjukkan pengaruh energi panas pada tingkat fleksibilitas struktur *polyurethane*. Semakin tinggi titik *glass temperature*, tingkat kekerasan *polyurethane* akan lebih fleksibel (Precision Urethane, 2008; Roquette, 2021). Dari hasil perbandingan nilai Tg *polyurethane* berbasis isosorbid lebih rendah sehingga tingkat fleksibilitasnya lebih baik dibandingkan *polyurethane* berbasis *petroleum*. Berdasarkan perbandingan *degradability* produk, *polyurethane* berbasis isosorbid memiliki kemampuan urai yang lebih cepat (berkurang 2% setelah 6 minggu) dibandingkan *polyurethane* berbasis *petroleum* yang membutuhkan 20-30 tahun. Sedangkan perbandingan *tensile stress* akan menunjukkan tingkat elastis polimer yang dihasilkan, dimana semakin tinggi tekanan *tensile stress* polimer, maka tingkat elastis juga semakin tinggi (Precision Urethane, 2008). Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, *polyurethane* berbasis isosorbid memiliki tingkat tekanan yang lebih tinggi, sehingga memiliki tingkat elastisitas yang baik. Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa *polyurethane* berbasis isosorbid lebih baik dibandingkan plastik konvensional.

Tabel I. 14 Perbandingan Plastik Konvensional dan Plastik Berbasis Isosorbid
(Precision Urethane, 2008; Bhuvanewari and Reddy, 2018)

Karakteristik	<i>Polyurethane</i> berbasis <i>petroleum</i> (Plastik Konvensional)	<i>Polyurethane</i> berbasis isosorbid
Stabilitas termal	93 – 148°C	250 – 408,9°C
<i>Glass Temperature</i> (Tg)	-253,15°C	-35,01°C
<i>Degradability</i>	20 – 30 tahun	berat berkurang 2% setelah 6 minggu
<i>Tensile stress</i>	0,1764 MPa	12,8 MPa

Keunggulan lainnya adalah bahan baku utamanya yang berasal dari limbah atau TKKS. Kandungan selulosa yang tinggi dan jumlah yang melimpah membuat TKKS menjadi kandidat yang sangat baik. Jumlah kuantitas limbah yang tinggi membuat harga TKKS menjadi sangat terjangkau dan pemanfaatan oleh warga yang tidak mempengaruhi banyaknya jumlah limbah, sehingga membuat ketersediaan bahan baku terjamin ada terus menerus. Pada proses pengolahan isosorbid, menggunakan proses produksi yang lebih singkat dan memiliki konversi produk yang tinggi. Secara analisa pasar, kebutuhan isosorbid secara global akan meningkat karena banyaknya kegunaan dari isosorbid sendiri. Hal ini menyebabkan naiknya jumlah pasar secara luas dengan jumlah besar.

I.4. Ketersediaan Bahan Baku dan Analisa Pasar

I.4.1. Ketersediaan Bahan Baku

TKKS merupakan limbah dari produksi kelapa sawit yang mengandung selulosa yang tinggi. Kelapa sawit adalah salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia, berdasarkan data (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2021) menunjukkan bahwa produksi kelapa sawit dan minyak kelapa sawit mengalami peningkatan dari tahun 2017 hingga 2021. Menurut (Badan Pusat Statistik, 2018b), terdapat 5 provinsi produsen kelapa sawit terbesar di Indonesia yang disajikan pada Tabel I.15.

Tabel I. 15 Produksi Kelapa Sawit di Indonesia (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2021)

Provinsi	Produksi (Ton)	
	2020	2021
Sumatera Utara	5.776.781	5.928.612
Riau	9.984.315	10.270.149
Sumatera Selatan	4.267.023	4.388.731
Kalimantan Timur	3.823.221	3.939.049
Kalimantan Tengah	7.685.770	7.920.462

Berdasarkan Tabel I.15, produksi kelapa sawit mengalami peningkatan yang cukup signifikan, dengan produsen kelapa sawit terbesar adalah provinsi Riau dan urutan kedua terdapat provinsi Kalimantan Tengah. Peningkatan jumlah produksi kelapa sawit menunjukkan bahwa ketersediaan limbah TKKS melimpah, dimana jumlahnya mencapai 22-23% dari berat tandan buah segar (Salmina, 2017). Mengingat provinsi Riau menjadi produsen kelapa sawit terbesar, pendirian pabrik tidak dapat dilakukan dikarenakan jalur pemasaran melalui laut tidak memadai untuk ke pulau Jawa dan jika dilakukan melalui jalur darat, biaya pengiriman yang dibutuhkan lebih besar. Selain itu, ketersediaan tenaga kerja dan upah minimum provinsi (UMP) turut menjadi pertimbangan. Dimana ketersediaan tenaga kerja di provinsi Kalimantan Tengah lebih banyak jika dibandingkan dengan provinsi Riau dengan UMP Kalimantan Tengah yang lebih rendah daripada Riau. Hal ini menjadi salah satu pertimbangan bahwa pabrik yang direncanakan akan berlokasi di Kalimantan Tengah.

Menurut (Badan Pusat Statistik, 2018b), Kalimantan Tengah memiliki total perkebunan kelapa sawit seluas 1,3 juta hektar. Jumlah kelapa sawit yang diproduksi di Kalimantan Tengah setiap tahunnya mengalami peningkatan dan disajikan pada Tabel I.16. Berdasarkan produksi kelapa sawit setiap tahunnya, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan bahan baku pada desain awal pabrik ini;

Tabel I. 16 Produksi Kelapa Sawit di Provinsi Kalimantan, 2017-2021 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2021)

Tahun	Produksi (Ton)
2017	5.778.611
2018	7.230.094
2019	7.664.841
2020	7.685.770
2021	7.920.462

Berdasarkan data BPS pada Tabel I.16, regresi linier dilakukan untuk mengetahui produksi kelapa sawit tahun 2027. Persamaan linier regresinya adalah

$$y = 473.938 (x) - 900.000.000$$

$$y = 473.938 (2027) - 900.000.000$$

$$y = 60.672.326 \text{ ton}$$

Data prediksi produksi tersebut akan digunakan untuk mengetahui ketersediaan TKKS yang dimana persentase konversi TBS kelapa sawit diperoleh dari (Susanto, Santoso and Suwedi, 2017). Berikut cara perhitungan ketersediaan TKKS pada tahun 2027:

$$100\% \text{ TBS} = 23\% \text{ TKKS} + 6,5\% \text{ Cangkang} + 4\% \text{ Lumpur Sawit} + 13\% \text{ Serabut} + 50\% \text{ Limbah Cair}$$

$$\text{Ketersediaan TKKS (2027)} = \frac{23}{100} \times 60.672.326 \text{ ton}$$

$$\text{Ketersediaan TKKS (2027)} = 13.954.635 \text{ ton limbah/tahun} = 1,39 \times 10^{10} \text{ kg/tahun.}$$

Berdasarkan data dari neraca massa (Lampiran A halaman A-1), kebutuhan TKKS untuk memproduksi isosorbide sebanyak 30.303,03 kg/hari dalam mencapai target produksi 10.000 ton isosorbide/tahun membutuhkan TKKS sebesar $4,41 \times 10^7$ kg/tahun. Dengan melihat angka tersebut, dapat disimpulkan bahwa jumlah TKKS yang tersedia dapat memenuhi kapasitas produksi yang telah ditentukan.

I.4.2. Analisa Pasar

Dalam merancang suatu pabrik kimia, memerlukan analisa pasar untuk mengetahui kebutuhan isosorbide yang dibutuhkan *market place* dan turut berhubungan dengan ketersediaan bahan baku sehingga memenuhi perancangan kapasitas produksi.

Pasar global isosorbid terbagi menjadi 4 wilayah seperti Amerika Utara, Eropa, Asia-Pasifik, dan sisanya (Timur Tengah & Afrika dan Amerika Selatan & Tengah) (Grand View Research, 2019). Pada tahun 2019, Asia-Pasifik menjadi pangsa pasar isosorbid terbesar, diikuti oleh Amerika Utara, Eropa, dan seluruh dunia. Asia-Pasifik menjadi pasar isosorbid terbesar dikarenakan perkembangan industri bioplastik China dengan biaya tenaga kerja dan bahan baku yang rendah. Berdasarkan (Grand View Research, 2019), permintaan isosorbid secara global setiap tahun meningkat dengan perkiraan *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) sebesar 8,4%, dengan pendapatan mencapai USD 428,5 juta pada 2019 dan USD 703,1 juta pada 2025.

Seperti disebutkan sebelumnya, pangsa pasar tertinggi isosorbid berada di pasar polimer dan resin, sehingga dalam prarencana pabrik ini berfokus pada penggunaan isosorbid dalam industri poliuretan. Proses produksi poliuretan biasanya membutuhkan aditif seperti stabilisator UV, peredam UV, dan pengumpulan radikal bebas untuk mencegah perubahan warna melalui reaksi oksidasi. Pabrik poliuretan sudah berdiri di Indonesia, dimana kebutuhan, permintaan, dan impor poliuretan setiap tahun meningkat menurut BPS-Statistik Indonesia yang disajikan pada Tabel I.17.

Menurut (Grand View Research, 2019), permintaan poliuretan meningkat setiap tahun, dimana pada tahun 2018, aplikasi poliuretan telah mengikuti aplikasi PEIT dengan angka CAGR sebesar 7,9% dari total pemasaran. Penambahan isosorbid dapat meningkatkan kualitas *polyurethane*, sehingga secara tidak langsung berdampak pada meningkatnya permintaan isosorbid yang mempengaruhi harga isosorbid di pasaran. Harga isosorbid naik 6,7% karena tingginya permintaan poliuretan di industri listrik, elektronik, peralatan medis, dan otomotif. Harga isosorbid di pasar global disajikan pada Tabel I.19.

Tabel I. 17 Data Kebutuhan, Permintaan, dan Impor *Polyurethane*, 2014-2018
(Badan Pusat Statistik, 2018a)

Tahun	Kebutuhan (Ton)	Permintaan (Ton)	Impor (Ton)
2014	3.247,92	35.754	32.479,16
2015	3.481,52	37.959	29.004,39
2016	3.990,41	40.241	31.200,64
2017	3.952,09	42.604	32.864,27
2018	4.562,30	44.868	34.527,89

Berdasarkan data BPS pada Tabel I.17, untuk memprediksi kebutuhan, permintaan, dan impor poliuretan pada tahun 2027 menggunakan program *forecast data sheet* pada *Microsoft excel* tahun 2019 yang hasilnya disajikan pada Tabel I.18.

Tabel I. 18 Hasil Prediksi menggunakan Program *Forecast Data Sheet*

Tahun	Kebutuhan (Ton)	Permintaan (Ton)	Impor (Ton)
2022	5.594,63	54.012,17	41.182,37
2023	5.716,01	56.298,09	42.845,99
2024	6.159,77	58.584,01	44.509,61
2025	6.281,16	60.869,93	46.173,23
2026	6.724,92	63.155,85	47.836,85
2027	6.846,30	65.441,76	49.500,47

Berdasarkan Tabel I.18, masing-masing nilai kebutuhan, permintaan, dan impor poliuretan tahun 2027 sebesar 6.846,30 ton; 65.441,76 ton; dan 49.500,47 ton. Tingginya permintaan poliuretan di Indonesia mempengaruhi kebutuhan isosorbid sebagai monomer dalam industri poliuretan. Dalam pembentukan bio-polimer, isosorbid yang dibutuhkan hanya sebesar 5,87% dari total bahan baku yang dipakai (Kim *et al.*, 2014), dimana hanya dengan 5,87% akan meningkatkan *value* dari poliuretan yang dihasilkan. Jumlah isosorbid yang diperlukan dalam pembentukan bio-polimer dapat dikategorikan sebagai kebutuhan isosorbid, dimana nilai nya didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan isosorbid} &= 65.441,76 \text{ ton} \times 5,87\% \\ &= 3.841,43 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel I. 19 Harga Global Isosorbid (Chemical Book, 2017)

Perusahaan	Nomor Produk	Deksripsi Produk	CAS number	Kemasan	Harga
Sigma-Aldrich	329207	<i>Dianhydro-D-gluticol 98%</i>	652-67-5	100 gr	\$61,60
Sigma-Aldrich	1352008	<i>Isosorbid United States</i>	652-67-5	1 gr	\$366,0

Perusahaan	Nomor Produk	Deksripsi Produk	CAS number	Kemasan	Harga
		<i>Pharmacopeia (USP) Reference Standard</i>			
TCI Chemical	10407	<i>Isosorbid >98% (GC)</i>	652-67-5	25 gr	\$27,00
TCI Chemical	10407	<i>Isosorbid >98% (GC)</i>	652-67-5	100 gr	\$55,00
Alfa Aesar	A13989	<i>D-Isosorbid, 98%</i>	652-67-5	50g	\$29,70

I.4.3. Penentuan Kapasitas Produksi

Berdasarkan analisa pasar, Indonesia tidak memiliki pabrik isosorbid sehingga dilakukan analisa kapasitas produksi isosorbid melalui perusahaan internasional. Beberapa perusahaan internasional yang memproduksi isosorbid adalah Roquette Ferries dari Perancis menjadi perusahaan internasional terbesar yang memproduksi isosorbid, Archer Daniels Midland, Cargill Incorporated, dan Par Pharmaceutical dari Amerika Serikat, Mitsubishi Chemical dari Jepang, SK Chemical dari Korea Selatan, Novaphene dan JP Laboratories dari India, dan Jinan Hongbaifeng Industry & Trade dari Cina. Kapasitas produksi dari pabrik-pabrik tersebut disajikan pada Tabel I.20.

Tabel I. 20 Kapasitas Produksi Pabrik Isosorbid Internasional

No.	Perusahaan Internasional	Kapasitas Produksi	Ref.
1.	Roquette Ferres	20.000 ton/tahun	(Roquette Ferres, 2015)
2.	Samyang Plans	10.000 ton/tahun	(Coons, 2019)
3.	Jinan Hongbaifeng Industry & Trade	600 ton/tahun	(Jinan Hongbaifeng Industry Co, 2019)
4.	SK Chemical	5.000 ton/tahun	(Kim, 2018)

Berdasarkan hasil analisa pasar dan analisa kapasitas produksi isosorbid secara global, maka kapasitas produksi isosorbid dari TKKS ditetapkan sebesar 10.000 ton/tahun. Besar kapasitas tersebut dapat terealisasi dengan melihat ketersediaan

bahan baku berupa TKKS yang melimpah dan mampu memenuhi jumlah bahan baku yang dibutuhkan untuk memproduksi isosorbid.

Tidak hanya itu, dikarenakan pabrik isosorbid masih pertama di Indonesia, maka kapasitas produksi tidak dapat melampaui perusahaan Roquette Ferries selaku produsen isosorbid terbesar. Apabila meninjau hasil analisa pasar, penentuan kapasitas produksi tersebut tepat karena produk yang dihasilkan mampu memenuhi 100% kebutuhan isosorbid di Indonesia dan mampu mengeskpor produk sebesar 61,59% dalam pasar internasional, dengan perhitungan pemenuhan isosorbid di Indonesia dnegan kapasitas 10.000 ton/tahun adalah sebagai berikut:

Kapasitas produksi isosorbid	= 10.000 ton/tahun
Kebutuhan isosorbid di Indonesia	= 3.841,43 ton \approx 100%
Jumlah produk yang diekspor	= Kapasitas – Kebutuhan Isosorbid di Indonesia
	= 10.000 – 3.841,43
	= 6.158,57 ton \approx 61,59%