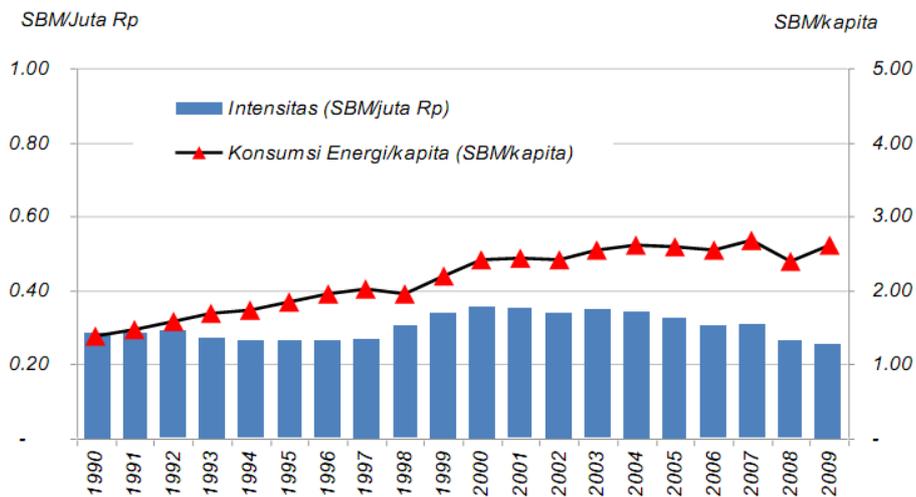


# BAB I PENDAHULUAN

## I.1. Latar Belakang

Energi merupakan hal penting yang dibutuhkan untuk perkembangan suatu negara. Sebagai negara berkembang, kebutuhan akan energi di Indonesia selalu meningkat dari tahun ke tahun. Hal itu ditunjukkan dari *trend* nilai konsumsi energi per kapita di Indonesia seperti yang tertera pada Gambar I.1 (PDIESDM, 2010).



**Gambar I.1 Grafik konsumsi energi per kapita di Indonesia dari tahun 1990-2009 (PDIESDM, 2010)**

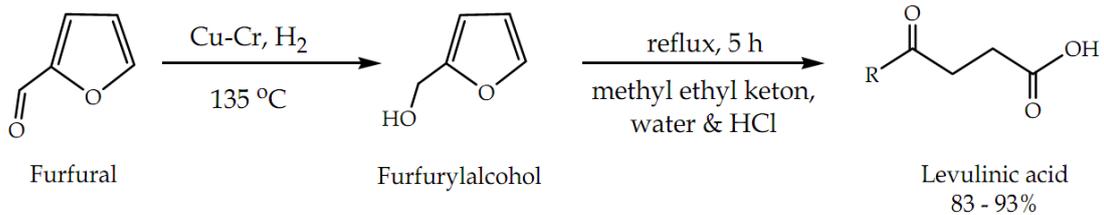
Minyak dan gas alam merupakan sumber utama untuk pemenuhan kebutuhan energi pada sektor industri dan transportasi (Encinar et al., 2012). Guna memenuhi kebutuhan energi tersebut, sumber-sumber alternatif yang terbarukan harus senantiasa digali, di mana fakta di lapangan selama ini 98% bahan kimia berasal dari turunan minyak dan gas alam (Hayes et al., 2008).

Salah satu produk kimiawi serba guna berbasis bahan baku alternatif adalah *levulinic acid*. *Levulinic acid* merupakan prekursor *biofuel* maupun polimer (karet sintesis dan plastik), selain itu produk ini juga termasuk *multi-platform product* di mana turunannya dapat diaplikasikan ke dalam berbagai bidang lain, seperti

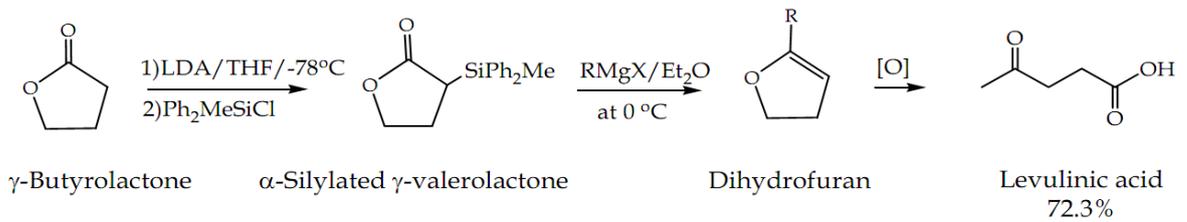
kosmetika, farmasi, dan lain-lain. Salah satu bahan baku potensial untuk pembuatan *levulinic acid* adalah biomassa (Hayes et al., 2008).

Definisi biomassa adalah material biologis dari makhluk hidup ataupun makhluk hidup itu sendiri, biasanya merujuk pada tumbuhan atau material turunannya (Demirbas, 2001). Komponen dari biomassa yang nantinya terkonversi menjadi *levulinic acid* adalah lignoselulosa. Lignoselulosa terdiri dari polimer karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa) maupun polimer aromatik (lignin). Dalam biomassa ampas tebu, komponen tersebut terdapat dalam jumlah yang signifikan (Girisuta, 2007). Di Indonesia, industri yang memanfaatkan biomassa sebagai bahan baku sangatlah banyak, sehingga hasil samping industri tersebut yang berupa limbah biomassa juga tersedia dalam jumlah besar. Salah satunya limbah berupa ampas tebu pada industri gula. Kapasitas produksi gula nasional tahun 2012 menjadi salah satu indikatornya, yaitu sebesar 2,58 juta ton (Antara, 2012). Dengan angka sebesar itu, ampas tebu yang merupakan limbah hasil penggilingan pada pabrik gula, bisa didapat secara mudah dalam jumlah melimpah, sehingga kemampuan pabrik ini untuk menyediakan *biofuel* atau *multi-platform* produk ini dalam jangka panjang dapatlah tercapai.

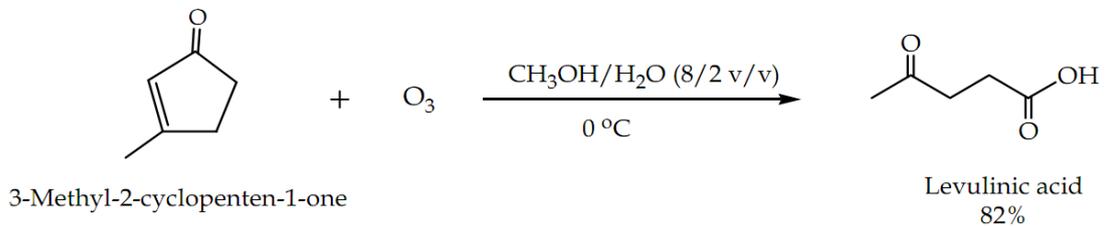
Dalam skala laboratorium, *levulinic acid* dapat dibuat dengan cara memanaskan sukrosa dengan asam HCl konsentrasi tinggi. Proses pembentukannya dimulai dengan pembentukan gula intermediet terlebih dahulu, di mana sukrosa terisomerisasi menjadi fruktosa, kemudian hidrosimetilfurfural (McKenzie, 1941). Selain metode di atas, terdapat berbagai macam cara pembentukan *levulinic acid* ((v) Gambar I.2), antara lain: hidrolisis *furfurylalcohol* yang diperoleh dari hidrogenasi furfural (i), oksidasi dihidrofurana yang diperoleh dari reaksi antara  $\alpha$ -silylated  $\gamma$ -butyrolactone dengan reagen Grignard (ii), ozonolisis dari *alicyclic  $\alpha,\beta$ -unsaturated* keton dalam media alkohol cair (iii), karbonilasi keton seperti 4-hidroksi-2-butanon (iv), dan oksidasi dari nitro-alkanal (v). Namun, metode-metode tersebut jarang digunakan dibandingkan dengan hidrolisa menggunakan katalis asam dengan pertimbangan harga bahan baku yang tinggi, banyaknya tahapan proses, serta harga dan keberadaan dari reagen yang digunakan (Chalid, 2012).



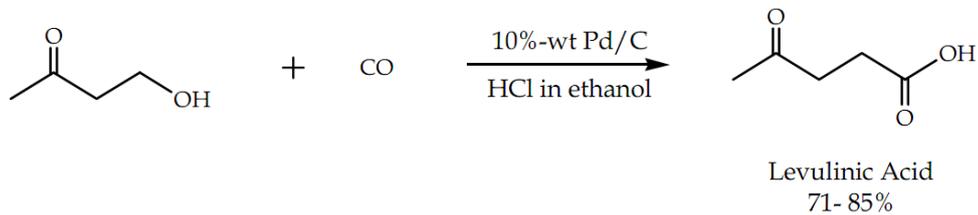
(i)



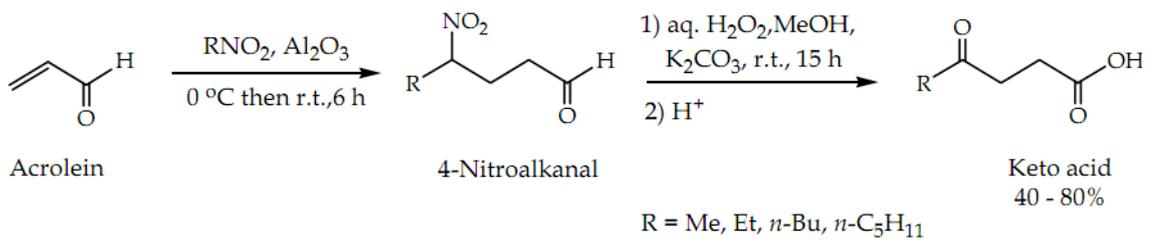
(ii)



(iii)



(iv)



(v)

**Gambar I.2** Macam-macam reaksi lain pembentukan *levulinic acid* (Chalid, 2012)

Dari berbagai cara produksi *levulinic acid*, proses *biofine* yang ditemukan oleh Stephen Fitzpatrick pada tahun 1988 adalah proses yang paling nyata untuk

diterapkan skal industri (Girisuta, 2007). Dari proses ini, *levulinic acid* mampu didapatkan dengan memproses bahan baku yang tersedia secara melimpah, yaitu biomassa ampas tebu. Pengolahan ampas tebu akan diproses untuk menjadi produk kimia yang lebih berharga, seperti *levulinic* mampu membantu mengurangi permasalahan energi di dunia saat ini, dibanding sekedar perannya selama ini sebagai pakan ternak maupun pupuk.

## I.2. Sifat-Sifat Bahan Baku dan Produk

### I.2.1. Ampas tebu sebagai bahan baku dalam pembentukan produk *levulinic acid*

Ampas tebu bagian dari kelompok biomassa yang dihasilkan dari proses penggilingan tebu dan merupakan limbah padat industri. Dalam limbah pabrik gula terkandung sejumlah air (46-52%), padatan terlarut (2-6%), dan serat (43-52%). Komposisi kimia ampas tebu meliputi: zat arang atau karbon (C) 23,7%, hidrogen (H) 2%, oksigen (O) 20%, air (H<sub>2</sub>O) 50%, dan gula 3%. Serat ampas tebu tidak larut dalam air dan sebagian besar terdiri dari selulosa, pentosan, dan lignin. Komposisi ketiga komponen tersebut dapat bervariasi pada varietas tebu yang berbeda (Andriyanti et al., 2012)

**Tabel I.1 Sifat fisika dari ampas tebu (Dakar, 2013 dan Andriyanti et al., 2012)**

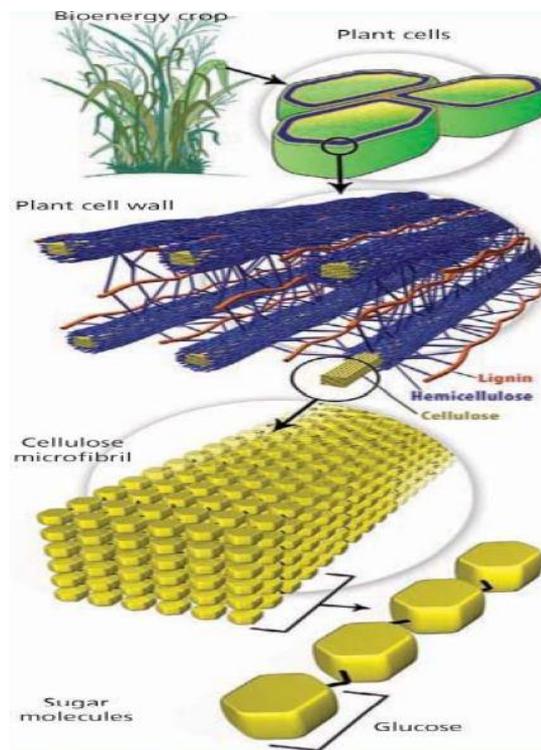
Kandungan	% berat kering
Abu	2 %
Lignin	25 %
Selulosa	44 %
Hemiselulosa	29 %
<i>Bulk Density</i>	400,50 kg/m <sup>3</sup>

**Tabel I.2 Komposisi gula dari hemiselulosa pada ampas tebu (Dakar, 2013)**

Kandungan	% berat
Xilosa	91,7 %
Arabinosa	7,2 %
Galaktosa	0 %
Manosa	1,1 %

### I.2.2. Lignoselulosa sebagai komponen utama dalam bahan baku yang dibutuhkan untuk produksi *levulinic acid*.

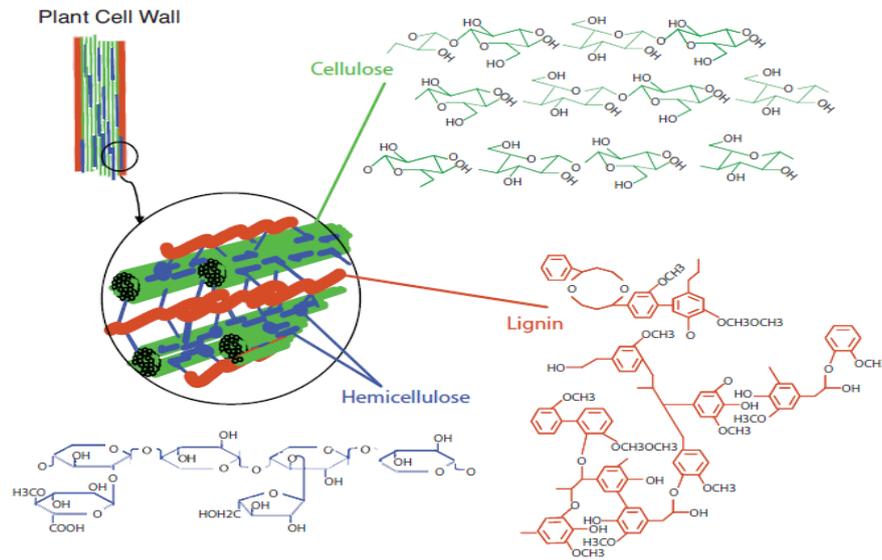
Lignoselulosa merupakan komponen dalam biomassa yang berasal dari tanaman yang tersusun oleh tiga senyawa utama, yaitu: selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ketiga komponen utama tersebut membentuk suatu ikatan kimia kompleks yang menjadi bahan dasar dinding sel tumbuhan (Gambar I.3), dengan komposisi yang berbeda-beda bergantung pada sumbernya. Ketersediaan lignoselulosa yang cukup melimpah menjadikan bahan ini berpotensi sebagai salah satu sumber energi melalui proses konversi, baik proses fisika, kimia, maupun biologis.



**Gambar I.3 Struktur dinding sel tumbuhan (Dakar, 2013)**

Selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ ) merupakan polimer linear glukosa dengan struktur rantai yang seragam. Senyawa organik ini adalah homopolisakarida dengan monomer glukosa dan derajat polimerisasi (bobot molekul selulosa/bobot molekul 1 unit glukosa) yang tinggi (10.000-14.000 unit), serta memiliki berat molekul yang bervariasi (50.000-2.500.000) bergantung pada asal sampel. Selulosa hampir tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni di alam, melainkan selalu berikatan yaitu lignin dan hemiselulosa. Selulosa murni mengandung 44,4% C; 6,2% H dan 49,3% O (Fengel, 1984).

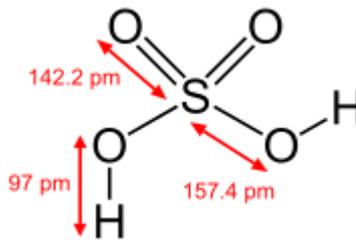
Hemiselulosa merupakan istilah umum bagi polisakarida yang larut dalam alkali. Rantai molekul hemiselulosa lebih pendek dari selulosa. Konstituen utama dari hemiselulosa adalah heksosan (glukosa, mannanosa, dan galaktosa) dan pentosan (xilosa dan arabinosa) (Howard dkk, 2003).



Gambar I.4 Lignoselulosa

(Sumber : <http://biofuel.webgarden.com>)

I.2.3. Asam sulfat sebagai katalis dalam reaksi hidrolisis



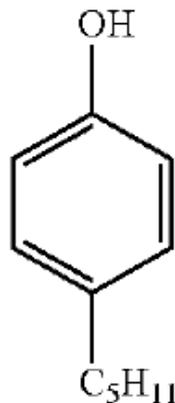
Gambar I.5 Struktur molekul H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Arkema, 2013)

Tabel I.3 Karakteristik asam sulfat (Arkema,2013)

Rumus Molekul	Karakteristik	Keterangan
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Bentuk fisik	cairan jernih tidak berwarna dan berbau
	Berat molekul (g/gmol)	98,079
	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	1,84 pada 25°C
	Viskositas (cP)	26,7 pada 20°C
	Titik leleh (°C)	10°C
	Titik didih(°C)	337
	Solubilitas	larut dalam air

Asam sulfat merupakan asam kuat yang bersifat sangat korosif. Asam ini merupakan salah satu produk utama dalam industri kimia dan banyak digunakan dalam pemrosesan bijih mineral, sintesis kimia, pemrosesan air limbah, dan pengilangan minyak. Senyawa ini mampu berperan sebagai katalis dalam berbagai reaksi kimia, seperti dalam reaksi konversi sikloheksanonoksim menjadi kaprolaktam (Curtin et al., 1991), reaksi antara isobutana dengan isobutilena (Olah et al., 1999), reaksi esterifikasi (Christie, 1993), dan lain-lain. Dalam proses *biorefinery*, senyawa asam kuat ini dimanfaatkan dalam konsentrasi rendah (3%) sebagai katalis asam dalam proses hidrolisa lignoselulosa dalam biomassa. Kehadiran asam sulfat bersama dengan air dalam kondisi subkritis yang mempunyai konsentrasi ion  $H^+$  lebih tinggi dari air pada kondisi ruang (Kronholm, 2007), akan menghasilkan reaksi hidrolisis lignoselulosa dalam waktu singkat dan *yield* yang besar (Girisuta, 2007).

#### I.2.4. 4-Amilfenol sebagai pelarut turunan furan



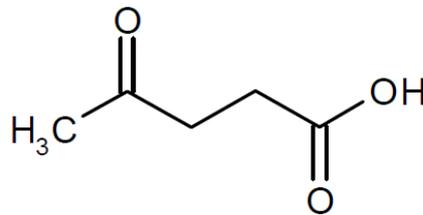
**Gambar I.6 Struktur molekul 4-amilfenol (Dumesic et al., 2013)**

**Tabel I.4 Karakteristik fisika 4-amilfenol (Dumesic et al., 2013)**

Rumus Molekul	Karakteristik	Keterangan
C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O	Bentuk fisik	Cairan kuning kecokelatan jernih
	Berat molekul (g/gmol)	164,24
	Titik leleh (°C)	23
	Titik didih(°C)	342
	Densitas (g/cc)	0,96 pada 20°C
	Solubilitas	Mampu melarutkan turunan furan (5-HMF, furfural, furfural alkohol, dan <i>levulinic acid</i> )

4-Amilfenol mempunyai properti unik, yaitu mampu melarutkan berbagai turunan dari furan, seperti furfural, 5-HMF, furfural alkohol, dan *levulinic acid* tanpa larut terhadap asam maupun air. Properti unik ini mampu meminimalisir terjadinya *solvent loss* sehingga alkilfenol dapat digunakan kembali dalam jumlah yang maksimal. Selain itu, senyawa ini juga memiliki perbedaan titik didih cukup besar dengan turunan furan sehingga memberikan kemudahan dalam pemisahan (Tabel I.4). Untuk itu, dalam proses produksi 4-amilfenol dilibatkan sebagai pelarut turunan furan yang nantinya akan dijual sebagai produk utama (*levulinic acid*) maupun produk samping (furfural dan 5-HMF) (Dumesic et al., 2013).

### I.2.5. *Levulinic Acid* sebagai produk utama



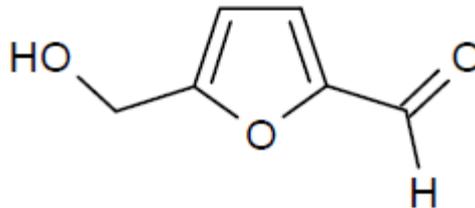
**Gambar I.7** Struktur molekul *levulinic acid* (Girisuta, 2007)

*Levulinic acid* adalah produk kimia utama dalam pabrik berbahan baku biomassa ini. Produk yang juga dikenal sebagai asam 4-oksopentanoat atau asam  $\gamma$ -ketovalerat merupakan senyawa asam karboksilat yang mempunyai struktur keton di dalamnya. Kehadiran dua gugus fungsi tersebut membuat senyawa ini dapat menjadi *multi-platform* untuk berbagai produk kimia (Sasaki et al., 2003). Label *multi-platform* tersebut disematkan untuk aplikasinya mulai dari produk intermediet dalam manufaktur parfum, *food additive*, *fuel additive*, *solder flux*, herbisida, *stabilizer*, dan tinta percetakan. Di samping itu, produk ini dapat diaplikasikan sebagai asidulan dalam bidang makanan, sebagai *plasticizer*, dan sebagai pelarut dalam bidang polimer, tekstil, dan *coating* (Chalid, 2012, Girisuta, 2007).

Senyawa ini memiliki tampilan fisik *flake semi-solid* di mana titik lelehnya berada dekat dengan suhu kamar, yaitu 37°C. *Levulinic acid* mudah larut pada air, etanol, dietil eter, aseton, dan berbagai pelarut organik lain (Timokhin et al., 1999). Beberapa karakteristik fisika dari *levulinic acid* tercantum pada Tabel I.5.

**Tabel I.5 Karakteristik fisika *levulinic acid* (Timokhin et al., 1999)**

Rumus Molekul	Karakteristik	Keterangan
C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	Bentuk fisik	Cairan kuning bening
	Berat molekul (g/gmol)	116,12
	Titik didih(°C)	246
	Densitas (g/cc)	1,14 pada 25°C
	Solubilitas	larut dalam air, alkohol, eter, dan kloroform

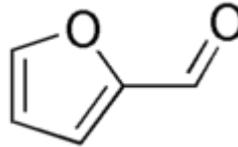
**I.2.6. 5-HMF sebagai produk samping****Gambar I.8 Struktur molekul 5-HMF (Chalid, 2012)**

5-HMF atau 5-hidroksimetil furfural merupakan produk intermediet dari proses hidrolisis selulosa menuju *levulinic acid*. Serupa dengan *levulinic acid*, 5-HMF juga merupakan *building block* untuk berbagai produk kimia, farmasi, polimer (poliester berbasis furan), dan material *fluorescent*. Selain itu, 5-HMF dapat dikonversi menjadi 2,5-dimetilfuran ataupun alkana cair, dimana senyawa-senyawa tersebut dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel (Ren et al., 2013 ; Lewkowski, 2001). Karakteristik dari senyawa intermediet dari reaksi konversi menuju *levulinic acid* ini dapat dilihat pada Tabel I.6.

**Tabel I.6 Karakteristik fisika dari 5-HMF (Rosatella et al., 2013)**

Rumus Molekul	Karakteristik	Keterangan
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	Bentuk fisik	cairan kuning bening
	Berat molekul (g/gmol)	126,11
	Titik didih(°C)	116
	Densitas (g/cc)	1,24 pada 25°C
	Solubilitas	larut dalam air, alkohol, eter, dan kloroform

### I.2.7. Furfural sebagai produk samping



**Gambar I.9 Struktur molekul furfural (Hoydonckx, et al., 2007)**

Furfural merupakan produk samping dari pabrik yang dihasilkan dari proses hidrolisis hemiselulosa dari ampas tebu. Sebagai produk samping, furfural memiliki nilai jual yang tinggi, oleh karena berbagai kegunaannya. Senyawa ini utamanya digunakan dalam proses pemurnian minyak pelumas. Selain itu, furfural juga digunakan dalam reaksi kondensasi dengan formaldehida, fenol, aseton, ataupun urea untuk menghasilkan resin yang memiliki properti *thermosetting* yang baik serta ketahanan fisik yang tinggi. Produk turunan dari hasil hidrogenasi dari furfural, yaitu metil-tetrahidrofuran juga berguna sebagai bahan bakar (Dumesic et al., 2013).

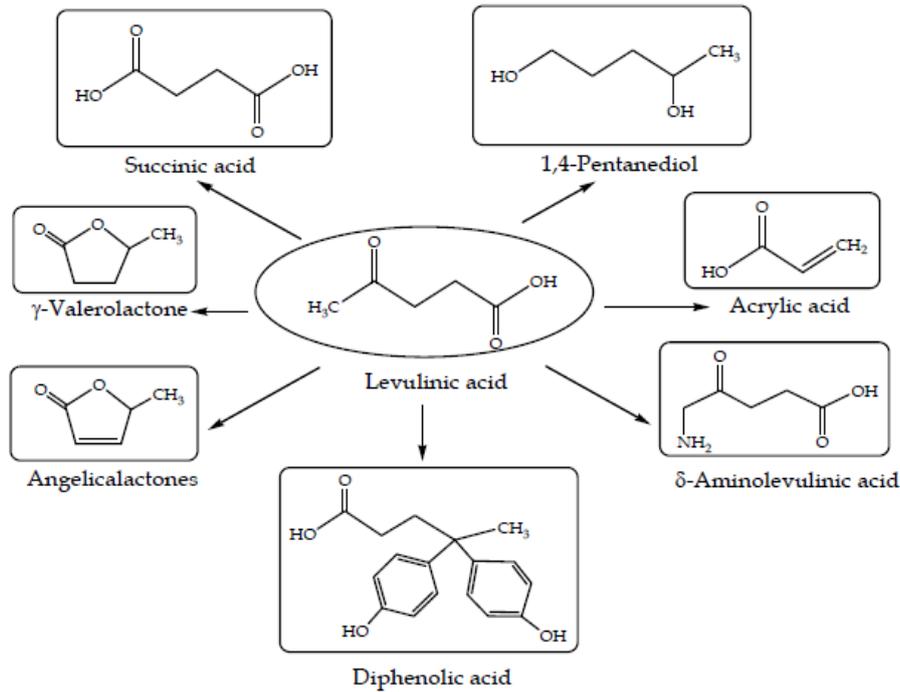
**Tabel I.7 Karakteristik fisika furfural (Hoydonckx, et al., 2007)**

Rumus Molekul	Karakteristik	Keterangan
C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	Bentuk fisik	minyak tidak berwarna
	Berat molekul (g/gmol)	96,08
	Titik leleh (°C)	-37
	Titik didih(°C)	162
	Densitas (g/cc)	1,16 pada 20°C
	Solubilitas	larut dalam air, alkohol, eter, dan kloroform

## I.3. Kegunaan dan Keunggulan Produk

### I.3.1. Kegunaan Produk

*Levulinic acid* dikategorikan sebagai *multi-platform* ataupun *building block* produk dikarenakan dua gugus reaktif yang dimilikinya, yaitu keton dan asam karboksilat. Oleh karena itu, senyawa ini memiliki berbagai turunan yang menarik seperti yang tertera pada Gambar I.10 (Girisuta, 2007).



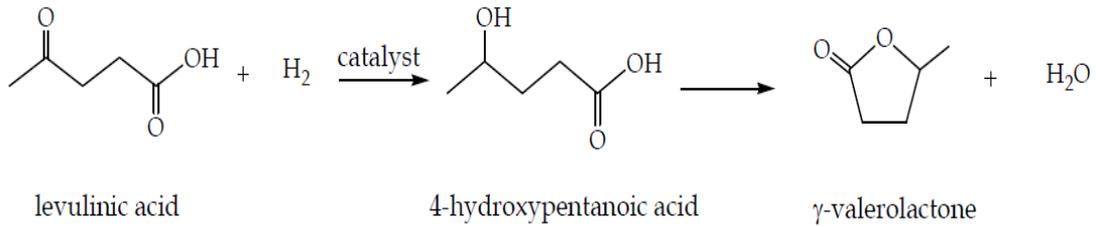
**Gambar I.10** Berbagai turunan senyawa dari *levulinic acid* (Chalid, 2012)

Pada reaksi yang melibatkan gugus karboksilat, *levulinic acid* dapat diturunkan menjadi senyawa etil levulinat melalui reaksi transesterifikasi dengan etanol. Senyawa tersebut berpotensi sebagai campuran bahan bakar diesel dari fosil. Penggunaannya sebagai campuran bahan bakar diesel dari fosil dengan kadar 20% telah diklaim aman bagi mesin diesel oleh Texaco and Biofine Inc (Texaco, 2000). Di samping sebagai bahan bakar diesel, senyawa ester levulinat ini mampu menggantikan kerosen sebagai bahan bakar gas turbin (Erner, 1982).

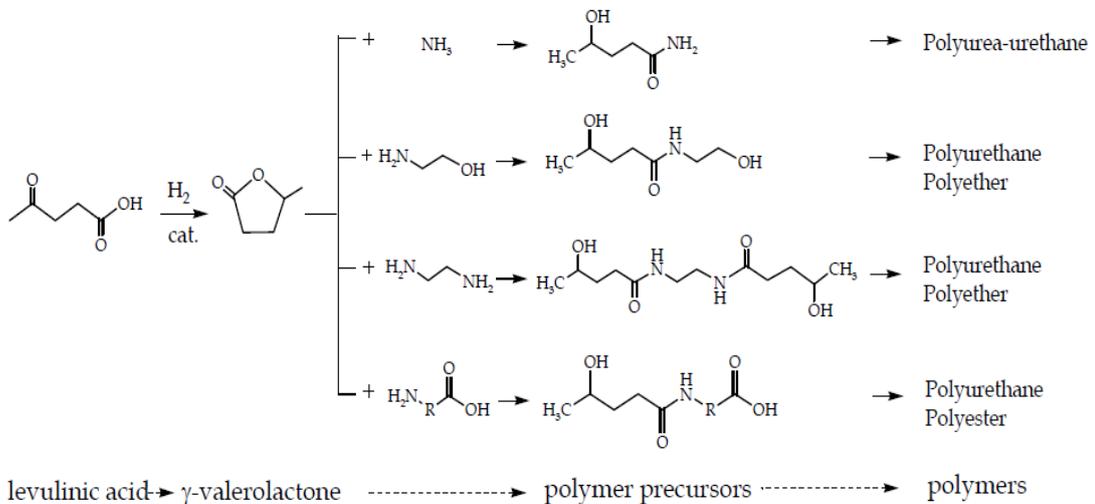
Aplikasi lain dari etil levulinat adalah dalam industri *flavour* dan pewangi. Senyawa ester levulinat yang dihasilkan dari alkohol bertitik didih tinggi dapat digunakan sebagai *plasticizer* untuk plastik selulosa (Izard, 1935 ; Lawson, 1935a ; Lawson, 1935b)

$\gamma$ -Valerolactone merupakan salah turunan senyawa *levulinic acid* yang menarik. Senyawa ini diperoleh dengan reaksi katalitik hidrogenasi dilanjutkan dengan penutupan cincin pada intermediet asam 4-hidroksi pentanoat (Gambar I.11). Kegunaan senyawa ini antara lain sebagai bahan campuran dalam *drug delivery system*, sebagai aditif yang terbarukan pada bahan bakar transportasi, sebagai pengganti etanol pada campuran bahan bakar-etanol. Selain itu senyawa GVL ini

mampu menjadi prekursor *green polymer* untuk berbagai biopolimer seperti yang tercantum pada Gambar I.12 (Chalid, 2012).



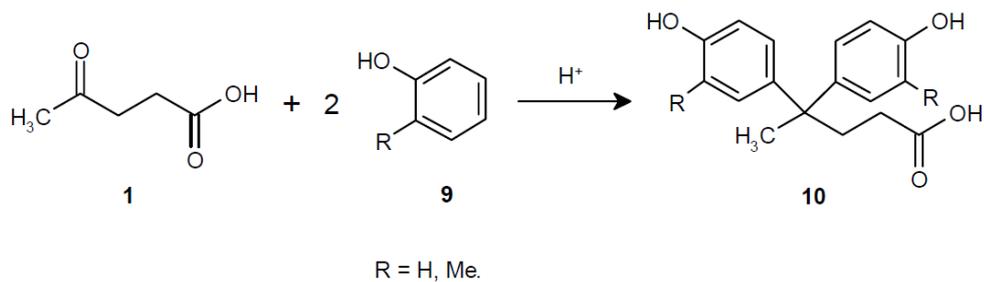
**Gambar I.11 Sintesis GVL dari *levulinic acid* (Chalid, 2012)**



**Gambar I.12 Rute sintesa biopolimer turunan dari *levulinic acid* (Chalid, 2012)**

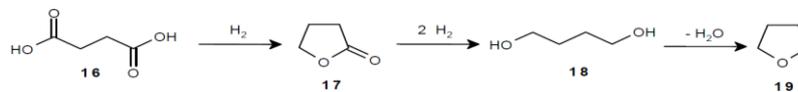
Reaksi antara gugus karboksilat pada *levulinic acid*, juga menghasilkan turunan yang aplikatif. Melalui esterifikasi, etil levulinat bisa dihasilkan. Senyawa turunan *levulinic acid* tersebut dapat diaplikasikan sebagai aditif pada bahan bakar, aplikasi pada industri perasa dan pewangi. Di samping itu, peran etil levulinat juga dibutuhkan pada pembuatan plastik selulosa dan sebagai substituen dari kerosen pada proses pembakaran gas turbin.

Gugus karbonil dari *levulinic acid* juga dilibatkan dalam pembentukan senyawa turunan yang menarik. Melalui reaksi kondensasi antara *levulinic acid* dengan alkohol aromatik/heterosiklik dapat dibentuk senyawa asam difenolik seperti Gambar I.13. Kegunaan dari asam difenolik antara lain dalam bidang polimer, sebagai material *fire-retardant*, pelumas, dan cat. Berdasarkan studi terakhir, material ini mampu merebut pasar *coating material* sebesar 2,3 ribu ton per tahun (Girisuta, 2007).



**Gambar I.13 Reaksi pembentuk asam difenolik (Girisuta, 2007)**

Asam suksinat atau *succinic acid* merupakan salah satu turunan dari *levulinic acid* yang diproduksi melalui reaksi oksidasi dengan kehadiran katalis  $V_2O_5$ . Pada tahun 2004 asam ini membukukan angka penjualan sebesar 270 ribu ton/tahun. Senyawa ini merupakan produk intermediet yang digunakan dalam bidang agrokimia, farmasi dan polimer. Beberapa turunan dari senyawa ini yang sangat bermanfaat antara lain GBL<sup>17</sup> ( $\gamma$ -butyrolactone), BDO<sup>18</sup>(1,4-butanediol), dan THF<sup>19</sup>(*tetrahydrofuran*). Turunan tersebut dapat dihasilkan dengan reaksi seperti yang terskemakan pada Gambar I.14 (Girisuta, 2007).



**Gambar I.14 Konversi asam suksinat menjadi beberapa turunannya (Girisuta, 2007)**

### I.3.2. Keunggulan Produk

Keterbatasan energi yang bersumber dari turunan minyak bumi maupun gas alam merupakan permasalahan khalayak umum. Guna menyelesaikan masalah tersebut dibutuhkan sumber-sumber yang terdapat dalam angka yang melimpah dan juga dapat diperbaharui dalam waktu yang singkat. Salah satu solusi di atas adalah pemanfaatan biomassa. Hal inilah yang merupakan salah satu diantara sekian banyak keunggulan dari produk *levulinic acid* ini yaitu segi bahan baku, di mana adanya pemanfaatan limbah industri gula, berupa ampas tebu. Di sini ampas tebu akan diolah menjadi produk kimia yang bernilai tinggi, daripada sekedar menjadi pakan ternak maupun limbah padat.

*Biofine*, di situlah letak keunggulan kedua. *Biofine technology* sendiri merupakan suatu teknologi hijau yang mampu memproses suatu bahan baku berbasis lignoselulosa menjadi produk kimia yang berharga, terutama dalam bidang *advanced biofuel*. Keunggulan proses tersebut antara lain waktu proses yang singkat (dalam

hitungan menit), dapat memproses berbagai produk non-pangan, produk samping yang berharga (asam format), kemurnian *levulinic acid* yang dihasilkan di atas 90%, dan kefleksibelan dalam memproduksi biomassa menjadi berbagai produk kimia yang spesifik (Girisuta, 2007).

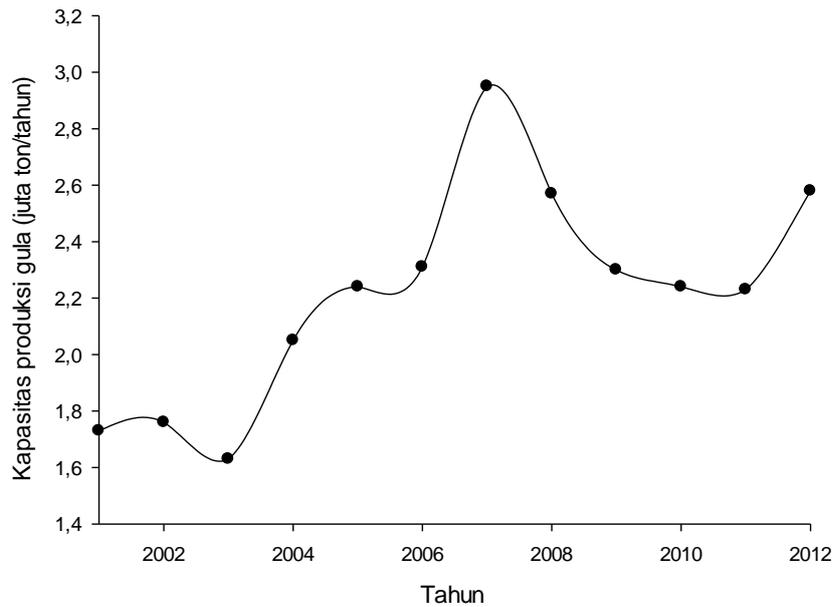
#### I.4. Ketersediaan Bahan Baku dan Analisa Pasar

##### I.4.1. Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku biomassa ampas tebu untuk memproduksi *levulinic acid* sangat berkaitan erat dengan produksi gula nasional. Keterkaitan ini muncul karena bahan baku untuk memproduksi gula adalah tebu dan ampas tebu merupakan limbah dari proses pengolahan tebu. Oleh karena itu, informasi mengenai data produksi gula nasional merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi jumlah bahan baku dari pabrik ini, seperti yang disajikan pada Tabel I.8 dan Gambar I.15 .

**Tabel I.8 Kapasitas produksi gula nasional tahun 2001-2012 (bappenas.go.id, 2013)**

No.	Tahun	Kapasitas Produksi Gula Nasional (juta ton/tahun)
1.	2001	1,73
2.	2002	1,76
3.	2003	1,63
4.	2004	2,05
5.	2005	2,24
6.	2006	2,31
7.	2007	2,95
8.	2008	2,57
9.	2009	2,3
10.	2010	2,24
11.	2011	2,23
12.	2012	2,58



**Gambar I.15 Kurva produksi gula nasional tahun 2001-2012**

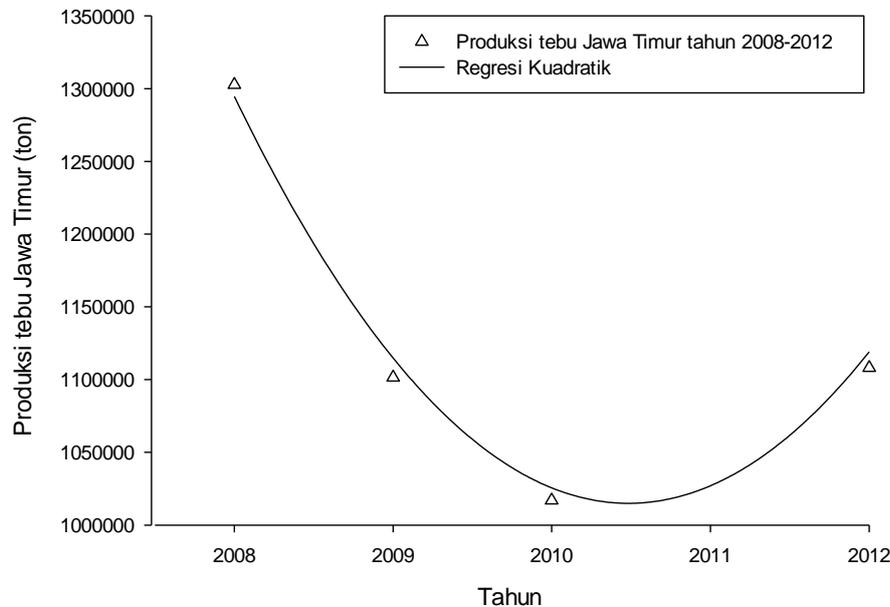
Berdasarkan data di atas, pada Gambar I.15 ditunjukkan bahwa secara keseluruhan produksi gula nasional cenderung menunjukkan *trend* fluktuatif. Hal ini disebabkan oleh faktor anomali iklim, peralatan industri yang sudah tua, dan permasalahan lahan. Akan tetapi saat ini bergulir wacana mengenai target pemerintah untuk mencapai swasembada gula pada 2014. Hal ini terbukti dengan kenaikan produksi gula nasional antara tahun 2011 ke 2012. Untuk mencapai program tersebut produksi tebu yang *notabene*-nya adalah bahan baku gula terus digalakkan. Data mengenai produksi tebu pada tiap provinsi tersaji pada Tabel I.9.

**Tabel I.9 Data produksi tebu pada beberapa provinsi di Indonesia**

Provinsi	Tahun				
	2008	2009	2010	2011	2012
Sumatera Utara	40.585*	37.874	31.025	47.122	47.871
Sumatera Selatan	58.861	88.391	66.451	91.124	92.844
Lampung	810,681	903.200	759.684	678.090	681.171
Jawa Barat	111,781	88.560	110.543	81.923	82.338
Jawa Tengah	266,891	221.938	233.430	249.452	348.272
Jawa Timur	1.302.724	1.101.538	1.017.003	1.051.872	1.108.112
Sulawesi Selatan	35.521	22.857	27.241	19.210	23.364
Gorontalo	25.736	35.358	27.412	32.521	35.324

\*dalam ton

Dari data Tabel I.9 terpapar bahwa Jawa Timur merupakan provinsi penghasil tebu tertinggi di Indonesia, dimana selama 5 tahun terakhir produksi tebu per tahunnya di atas *level* 1 juta ton. Hal inilah yang mendasari dipilihnya Jawa Timur sebagai daerah penyuplai bahan baku untuk pabrik *levulinic acid* ini. Oleh karena itu, dilakukan analisa terhadap *trend* produksi tebu di Jawa Timur mulai dari 2008-2012.



**Gambar I.16 Kurva produksi tebu Jawa Timur tahun 2008-2012**

Dari regresi kuadratik Gambar I.16, diperkirakan kapasitas produksi Jawa Timur pada tahun 2016 akan meningkat sampai angka 2.393.543 ton/tahun, angka ini didapat dari persamaan  $y = 1565044,8 - 315713.x + 45304.x^2$ , di mana  $y$  merupakan data produksi tebu (ton/tahun) dan  $x$  merupakan tahun ke-, dengan nilai  $r^2 = 0,9785$ . Perkiraan ini sesuai dengan fakta yang akan terjadi di lapangan, di mana dicanangkan program pemerintah Swasembada Gula tahun 2014, sehingga sektor-sektor produksi gula dalam negeri akan ditingkatkan. Otomatis produksi tebu sebagai bahan baku akan ditingkatkan. Hal ini terlihat dari penambahan lahan penanaman tebu sebanyak 300.000 hektar sampai 2014. Jika diasumsikan 1 hektar mampu menghasilkan 67,1 ton tebu, maka akan terjadi penambahan 20,13 juta ton tebu yang dihasilkan.

Guna menilai validitas dari persamaan kuadratik tersebut, dibandingkan hasil tahun 2008 dari persamaan dan di lapangan.

$$y = 1565044,8 - 315713.x + 45304.x^2$$

$$y = 1565044,8 - 315713.(1) + 45304.(1)^2$$

$$y = 1.294.686 \text{ ton/tahun}$$

Hasil dari persamaan didapat nilai sebesar 1.294.686 ton/tahun, sedangkan hasil di lapangan menunjukkan 1.302.724 ton. Berdasarkan data tersebut, didapatkan hasil penyimpangan sebesar 0,45 persen, dengan rincian sebagai berikut.

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{data} - \text{hasil perhitungan}}{\text{data}} \cdot 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = \frac{|1.302.724 - 1.294.686|}{1.302.724} \cdot 100\%$$

$$\text{Penyimpangan} = 0,62\%$$

Dengan cara seperti di atas, dilakukan perhitungan untuk membandingkan data riil produksi tebu dari tahun ke-1 s/d 5. Parameter kevalidasian persamaan dilihat dari besar penyimpangan, seperti yang tertera pada Tabel I.10.

**Tabel I.10 Hasil penyimpangan dari prediksi teoritis**

Tahun	Penyimpangan
2008	0,62%
2009	1,21%
2010	0,85%
2011	2,36%
2012	0,99%
Rata-rata	1,21%

Dari Tabel I.8, dapat diketahui bahwa besar penyimpangan rata-rata adalah 1,21%. Hal ini membuktikan bahwa persamaan ini valid untuk digunakan sebagai prediksi data bahan baku ke depan karena nilai penyimpangannya <10%.

Kapasitas produksi pabrik *levulinic acid* ini jika didasarkan atas ketersediaan bahan baku di pasar, dengan perincian sebagai berikut

$$\text{Produksi tebu tahun 2016} = 2.393.543 \text{ ton}$$

$$\text{Ampas tebu} = 32\% \cdot \text{Jumlah tebu}$$

$$\text{Ampas tebu} = 32\% \cdot 2.393.543 \text{ ton}$$

$$\text{Ampas tebu} = 765.933,76 \text{ ton}$$

$$\text{Ampas tebu yang belum dimanfaatkan} = 45\% \cdot 765.933,76 \text{ ton}$$

$$\text{Ampas tebu yang belum dimanfaatkan} = 344.670,192 \text{ ton}$$

Berdasarkan literatur disebutkan bahwa *yield* reaksi konversi ampas tebu menjadi *levulinic acid* adalah 15% terhadap massa bahan baku (Girisuta, 2007).

Yield LA=15% . 344.670,192 ton

Yield LA=51.700 ton

Dengan asumsi bahwa ampas tebu merupakan 32% bagian tebu dan ampas tebu yang belum dimanfaatkan sebesar 45%, sehingga dapat ditentukan bahwa kapasitas produksi pabrik ini sebesar 51.700 ton/tahun. *Raw material oriented* dipilih dalam penentuan kapasitas produksi didasarkan pada multiaplikasi dari produk. Hal ini dikarenakan produk dari pabrik ini dapat dimanfaatkan pada berbagai industri seperti polimer, farmasi, maupun bioenergi, sehingga *market* dari produk ini sangatlah besar. Yang menjadi pembatas dalam produksi produk bukanlah *market* melainkan ketersediaan bahan baku. Namun, untuk memvalidasi pilihan *raw material oriented* sebagai penentu kapasitas produksi, keterserapan produk *levulinic acid* tetap harus dianalisa sesuai dengan keadaan pasar tahun 2016.

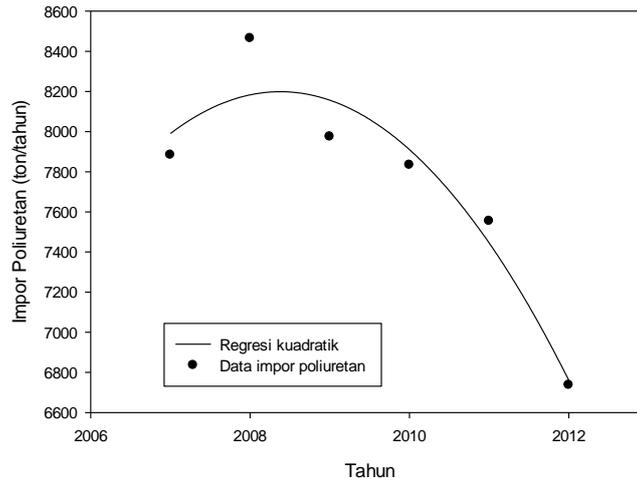
#### I.4.2. Analisa Pasar

Analisa pasar dan ketersediaan bahan baku bagaikan ‘dua sisi mata uang’ dalam percangan kapasitas produksi. Dalam produksi *levulinic acid*, produk dapat merangsek pada berbagai sektor industri polimer, farmasi, *biofuel*, tekstil, dan lain-lain. Salah satu pasar polimer terbesar di Indonesia yang bisa dipenuhi oleh *levulinic acid* adalah poli-uretan. Melalui reaksi hidrogenisasi, *levulinic acid* mampu menghasilkan *gamma-valerolacton* yang merupakan pre-kursor biopolimer poli-uretan (Chalid, 2012). Kebutuhan akan poli-uretan dalam negeri sampai saat ini masih belum dapat dipenuhi dari produksi dalam negeri sehingga sebagian kebutuhan tersebut dipenuhi dengan jalan impor. Dalam dipaparkan mengenai data permintaan dan produksi poli-uretan dalam negeri.

**Tabel I.11 Data kebutuhan poli-uretan dalam negeri**

Tahun	Permintaan (ton/tahun) <sup>1</sup>	Produksi (ton/tahun) <sup>2</sup>	Impor (ton/tahun)
2007	22.263	14.379	7.884
2008	24.005	15.540	8.665
2009	25.795	17.821	7.974
2010	27.654	19.821	8.833
2011	29.575	22.021	8.554
2012	31.564	24.827	6.937

<sup>1</sup>(Wijanarko et al., 2013) <sup>2</sup>Annual report of PT. Data Consult, Inc.



**Gambar I.17 Kurva impor poliuretan di Indonesia tahun 2007-2012**

Gambar I.17 menunjukkan data impor poliuretan dalam negeri untuk kurun 6 tahun belakangan ini, dimana terlihat tren penurunan secara kuadratik. Guna memprediksi nilai impor pada tahun 2016, digunakan persamaan regresi kuadratik untuk menggambarkan fenomena statistik dari nilai impor poliuretan. Persamaan tersebut adalah  $y = 7578,4000 + 521,7786 \cdot x - 109,6786 \cdot x^2$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9137, dimana  $y$  adalah jumlah impor poliuretan (ton/tahun) dan  $x$  adalah tahun ke-. Untuk memastikan keakuratan pendekatan dilakukan pengecekan kembali/*cross check* antara hasil persamaan regresi kuadratik dengan hasil impor poliuretan untuk tahun 2007-2012. Dari hasil penyimpangan yang tercatat pada dapat diketahui bahwa persamaan tersebut layak digunakan untuk memprediksi data impor pada tahun 2016, dimana penyimpangan rata-rata yang dihasilkan hanya 1,52%.

**Tabel I.12 Data penyimpangan perkiraan data impor poliuretan dengan persamaan kuadratik**

Tahun	Penyimpangan
2007	0,83%
2008	3,82%
2009	1,78%
2010	0,47%
2011	1,99%
2012	0,25%
Rata-rata	1,52%

Dengan pendekatan regresi kuadratik, didapatkan perkiraan nilai impor pada tahun 2016 adalah sebesar 1.788 ton/tahun. Agar dapat menutupi nilai impor dari produksi dalam negeri, produksi *levulinic acid* yang dapat menghasilkan senyawa

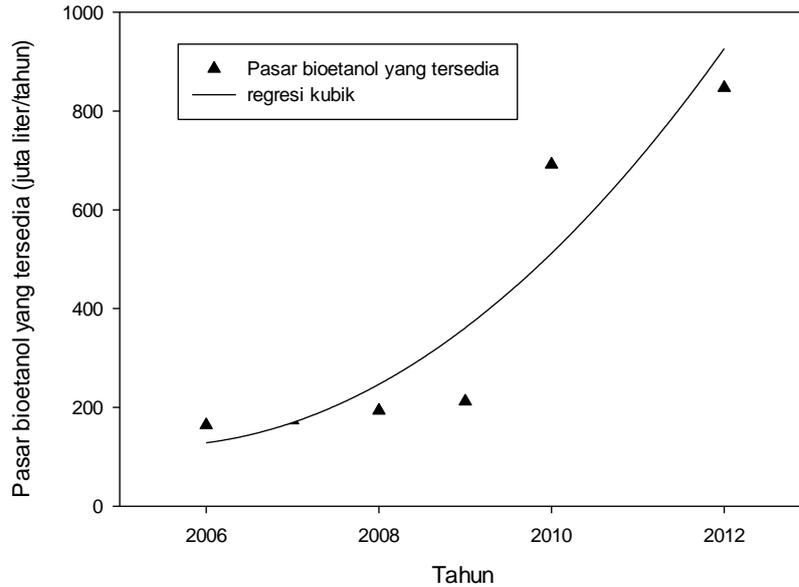
turunan *gamma-valerolactone* dan dapat dikonversi menjadi poliuretan harus dapat memenuhi jumlah tersebut. *Gamma-valerolactone* dapat diperoleh dengan reaksi hidrogenasi dari *levulinic acid* yang diproduksi dari pabrik ini. Berdasarkan penelitian sebelumnya, *levulinic acid* dapat 100% (%berat) dikonversi menjadi *gamma-valerolactone* dengan bantuan katalis *noble metal* (Upare et al., 2011). Konversi senyawa tersebut menuju poliuretan menghasilkan *yield* 90%. Untuk dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri tahun 2016 (1788 ton/tahun), perlu disuplai *levulinic acid* sebesar 1986,67 ton/tahun.

Di samping peran *gamma-valerolactone* dalam industri polimer, senyawa turunan *levulinic acid* ini juga dapat digunakan sebagai pengganti *bio-ethanol* sebagai campuran bensin. Penggunaan *gamma-valerolactone* sebagai campuran bensin telah dievaluasi menunjukkan kualitas yang sama dengan campuran etanol-bensin (Horvath et al., 2008). Selain itu, *gamma-valerolactone* juga tidak membentuk sebuah azeotrop dengan air, sehingga dalam pembuatannya membutuhkan energi yang lebih rendah dibanding etanol absolut (Fabos et al., 2009 dan Nasirzadeh et al., 2004). Oleh karena itu, turunan *levulinic acid* ini berpotensi untuk masuk ke pasar bioetanol yang selama ini jumlah produksinya masih di bawah peraturan Kementerian Energi dan Mineral No. 32/2008. Data mengenai analisa pasar bioetanol tertera pada

Tabel I.13.

**Tabel I.13 Analisa pasar bioetanol (Slette dan Wiyono, 2013)**

Tahun	Produksi Bioetanol untuk bahan bakar (juta liter/ tahun)	Konsumsi bensin (juta liter/ tahun)	Minimum campuran bioetanol pada bahan bakar	Pasar yang tersedia (juta liter/ tahun)
2006	0,3	16.449	1%	164,19
2007	1	17.500	1%	174
2008	1,2	19.470	1%	193,5
2009	1,7	21.389	1%	212,19
2010	0	23.062	3%	691,86
2011	0	25.392	3%	761,76
2012	0	28.240	3%	847,2



**Gambar I.18 Kurva pasar bioetanol yang tersedia dari tahun 2006-2012**

Berdasarkan Gambar I.18, pasar bioetanol menunjukkan tren meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan tersebut didekati dengan persamaan regresi kuadratik  $y = 124,8429 - 14,8589 \cdot x + 18,4775 \cdot x^2$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,8845, dimana  $y$  adalah pasar yang tersedia (juta liter/tahun) dan  $x$  merupakan tahun ke-. Untuk memastikan kevalidan persamaan tersebut, hasil dari persamaan untuk tahun 2006-2012 dibandingkan dengan hasil nyata yang ada sehingga didapatkan penyimpangan rata-rata 23,34% (Tabel I.14). Dari persamaan regresi tersebut, pasar bioetanol yang tersedia diprediksikan pada tahun 2016 adalah sebesar 2367 juta liter/tahun. Dari Perry 8th edition didapatkan densitas etanol sebesar 0,789 kg/L dan konversi dari *levulinic acid* menjadi *gamma-valerolactone* sebesar 100% (Upare et al., 2011) sehingga *levulinic acid* yang perlu disuplai pada tahun 2016 sebesar 1,867 juta ton/tahun.

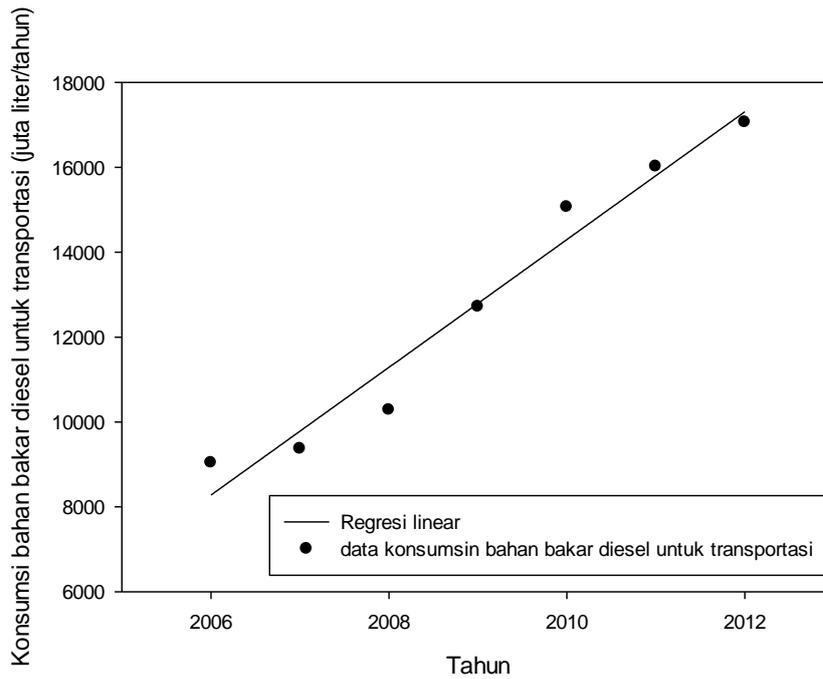
**Tabel I.14 Data penyimpangan hasil prediksi untuk pasar bioetanol**

Tahun	Penyimpangan
2006	21,43%
2007	2,29%
2008	27,64%
2009	69,18%
2010	25,7%
2011	8,10%
2012	9,06%
Rata-rata	23,34 %

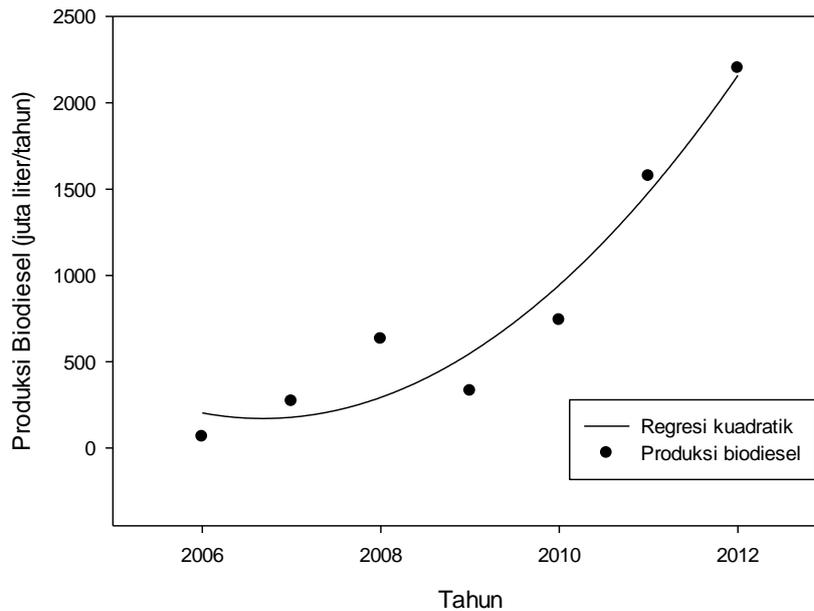
Selain *gamma-valerolactone*, etil levulinat juga merupakan turunan dari *levulinic acid* yang dapat dimanfaatkan pada sektor *biofuel*. Berbeda dari *gamma-valerolactone*, etil levulinat berperan sebagai campuran bahan bakar diesel. Selama ini, pemanfaatan biodiesel/ metil ester terhambat oleh harga bahan baku yang tinggi. Hal ini tercermin dari penurunan jumlah produksi biodiesel pada tahun 2009 (Tabel I.15). Sampai tahun 2012, biodiesel baru digunakan pada kisaran 3,9% sebagai campuran bahan bakar diesel dari solar. Data-data statistik mengenai penggunaan bahan bakar diesel dari fosil dan biodiesel mulai dari tahun 2006-2012 dapat dilihat pada Tabel I.15.

**Tabel I.15 Data statistik produksi biodiesel (Slette dan Wiyono, 2013)**

Tahun	Total konsumsi bahan bakar diesel untuk sektor transportasi (juta liter/tahun)	Konsumsi biodiesel untuk sektor transportasi (juta liter/tahun)	Rasio campuran	Produksi biodiesel (juta liter/tahun)
2006	9.039	5	0,1%	65
2007	9.370	22	0,2%	270
2008	10.282	23	0,2%	630
2009	12.717	60	0,5%	330
2010	15.065	220	1,5%	740
2011	16.021	358	2,2%	1575
2012	17.063	670	3,9%	2200



**Gambar I.19 Kurva konsumsi bahan bakar diesel untuk transportasi**



**Gambar I.20 Kurva produksi biodiesel (juta liter/tahun)**

Dari Gambar I.19 dan Gambar I.20, didapatkan persamaan regresi untuk memprediksi data konsumsi bahan bakar diesel dan produksi biodiesel untuk tahun 2016. Persamaan regresi untuk konsumsi bahan bakar diesel adalah  $y = -6771,4286 + 1505,6701 \cdot x$  ( $R^2=0,9626$ ) sedangkan persamaan regresi untuk produksi biodiesel adalah  $y = 368,5714 - 235,5357 \cdot x + 70,1786 \cdot x^2$  ( $R^2=0,9335$ ), dimana  $y$

adalah konsumsi bahan bakar diesel/ produksi biodiesel dengan satuan juta liter per tahun dan  $x$  adalah tahun ke-. Berdasarkan dua persamaan tersebut, diprediksikan pada tahun 2016, konsumsi bahan bakar diesel untuk transportasi sebesar 23460 juta liter/tahun dan produksi biodiesel sebesar 6186 juta liter/tahun. Oleh karena itu, pasar yang tersedia untuk *gamma-valerolactone* dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

- Kebijakan minimal rasio campuran untuk biodiesel adalah 30%
- Jumlah biodiesel yang harus tersedia :  
 $30\% \cdot 23460 \text{ juta liter/tahun} = 7038 \text{ juta liter/tahun}$
- Kekurangan produksi biodiesel:  
 $7038 \text{ juta liter/tahun} - 6186 \text{ juta liter/tahun} = 852 \text{ juta liter/tahun}$
- Massa biodiesel yang dibutuhkan:  
 $852 \text{ juta liter/tahun} \cdot 0,880 \text{ kg/L (Baroutian et al., 2008)} = 749,76 \text{ ribu ton/tahun}$
- Konversi *levulinic acid* menjadi etil levulinat adalah 95% (Nandiwale et al., 2013)
- Kebutuhan *levulinic acid*:  
 $749,76 \text{ ribu ton/tahun} : 0,95 = 789,22 \text{ ribu ton/tahun}$

Analisa pasar *levulinic acid* didasarkan pada aplikasi senyawa turunannya karena *levulinic acid* merupakan *multi-platform* dari berbagai produk kimia. Beberapa aplikasi dari senyawa turunan *levulinic acid* (*gamma-valerolactone* dan etil levulinat) adalah pada pasar poliuretan, bioetanol, dan biodiesel. Rincian mengenai pasar produk *levulinic acid* tertera pada Tabel I.16, dimana dibutuhkan produk *levulinic acid* sebanyak 2.658,20667 ribu ton.

**Tabel I.16 Rincian beberapa pasar untuk produk *levulinic acid***

Pasar	Jumlah (ribu ton)
Poliuretan	1,98667
Bioetanol	1.867
Biodiesel	789,22
Total	2.658,20667

Jika ditinjau dari kapasitas produksi berdasarkan ketersediaan bahan baku, dapat diproduksi *levulinic acid* 51,7 ribu ton (2% dari pasar). Dari sisi analisa pasar, penentuan kapasitas produksi berdasarkan *raw material oriented* adalah tepat karena produk yang dihasilkan dapat diserap oleh pasar. Oleh karena, dalam pra-rencana pabrik *levulinic acid* ditetapkan kapasitas produksinya adalah sebesar 51,7 ribu ton/tahun.