

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

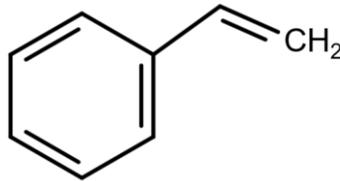
Indonesia adalah negara produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, menghasilkan 57% dari seluruh produksi global [1]. Menurut Badan Pusat Statistik, Indonesia pada tahun 2019 menghasilkan sebanyak 47 juta ton kelapa sawit [2]. Jumlah produksi yang masif ini memungkinkan banyaknya limbah yang diperoleh dalam pengolahan kelapa sawit, yakni tandan kosong kelapa sawit (TKKS). TKKS sendiri adalah biomassa yang terbentuk dari banyak komponen lignoselulosa dan secara umum digunakan sebagai bahan bakar atau sebagai pupuk [3]. Dikarenakan meningkatnya permintaan minyak sawit, baik secara domestik maupun internasional [4] maka jumlah limbah TKKS yang dihasilkan juga akan meningkat. Hal ini membuat TKKS mampu menjadi salah satu biomassa yang menjanjikan sebagai bahan baku untuk produksi *synthesis gas* (*syngas*).

Syngas adalah campuran dari gas hidrogen (H_2) dan karbon monoksida (CO). *Syngas* dihasilkan melalui pembakaran tidak sempurna dari material dengan kadar karbon yang tinggi. Proses ini disebut sebagai proses gasifikasi. Dalam prosesnya, karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), uap air, *tar*, *char* dan abu juga akan terbentuk sebagai produk samping [5]. Beberapa hidrokarbon ringan lain seperti C_2H_y juga dapat dihasilkan dalam jumlah yang sangat kecil [6]. *Syngas* umumnya digunakan sebagai bahan bakar atau sebagai bahan baku dalam proses sintesis senyawa kimia lainnya. Salah satunya senyawa yang dapat disintesis adalah stirena, yakni bahan precursor untuk pembuatan polistirena dan berbagai kopolimer. Polimer-polimer yang terbuat dari stirena tersebut banyak digunakan dalam industri, mulai dari industri plastik hingga otomotif. Sintesis stirena dengan menggunakan TKKS sebagai bahan baku tentunya dapat membantu mengurangi limbah perkebunan. Selain itu, hal ini juga mampu meningkatkan nilai guna dari TKKS.

I.2 Sifat-sifat Bahan Baku dan Produk

I.2.1 Stirena

Stirena atau yang sering dikenal dengan istilah etenilbenzena, vinilbenzena atau feniletena merupakan senyawa kimia organik yang termasuk ke dalam kelompok senyawa aromatik monomer tak jenuh. Stirena memiliki rumus kimia $C_6H_5C_2H_3$ dan berwujud cair, tidak berwarna, dan memiliki bau aromatik yang khas pada suhu dan tekanan ruang. Berikut tabel yang merangkum sifat fisika dan kimia dari stirena [7]:



Gambar I.1 Struktur Stirena

Tabel I.1 Sifat Fisika dan Kimia Stirena

Stirena	
Rumus Kimia	$C_6H_5C_2H_3$
Berat molekul	104 g/mol
Wujud	Cair
Polaritas	Non-polar
Warna	Tidak berwarna
Titik didih	145-146°C
Titik leleh	-30,65°C
Panas laten fusi	10.95 kJ/mol (saat titik leleh)
Panas laten sublimasi	43.9 kJ/mol
Panas pembentukan	103.8 kJ/mol
Titik Flash	32.0 °C
Solubilitas	300 mg/L pada 25
Densitas	0.9016 g/cm ³
Tekanan Uap	6.40 mm Hg
Konstanta Hukum Henry	0.00275 atm m ³ /mol
Viskositas	0.696 cP
Panas pembakaran	-4,395.63 kJ/mol
Panas penguapan	0.50 kcal/mol

I.2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit

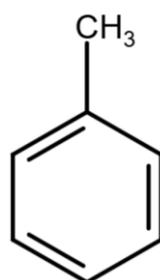
Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah dari produksi buah kelapa sawit. Umumnya, kelapa sawit dibedakan menjadi empat bagian penting yaitu, sabut, *kernel* (inti), kulit luar, dan cangkang. *Kernel* digunakan sebagai bahan baku produksi minyak goreng dan mentega, sedangkan kulit luar, cangkang, dan serat merupakan limbah dari kelapa sawit yang dapat digunakan sebagai bahan baku kertas, pupuk, dan bahan bakar. Kandungan tandan kosong kelapa sawit menurut %berat dapat dilihat pada Tabel I.2 [3]:

Tabel I.2 Komposisi Unsur pada TKKS

Elemen	Komposisi (%berat)
C	49,07
H	6,48
O	38,29

I.2.3 Toluena

Toluena merupakan senyawa turunan benzene yang dapat menimbulkan efek hematologis. Toluena termasuk dalam golongan senyawa kimia yang mudah menguap pada suhu ruang sehingga dapat mengakibatkan beberapa efek kesehatan bagi pekerja apabila terhirup. Toluena juga merupakan senyawa kimia yang termasuk dalam senyawa aromatik. Berikut tabel yang merangkum sifat fisika dan kimia dari toluena [8]:



Gambar I.2 Struktur Toluena

Tabel I.3 Sifat Fisika dan Kimia Toluena

Toluena	
Rumus Kimia	C ₆ H ₅ CH ₃
Berat molekul	92,14 g/mol
Wujud	Cair
Polaritas	Non-polar
Warna	Tidak berwarna
Titik didih	110-111°C
Titik leleh	-394,9°C
Titik Flash	4,4 °C
Solubilitas	526 mg/L
Densitas	0.8623 g/cm ³
Tekanan Uap	28,4 mm Hg
Konstanta Hukum Henry	6,64 x 10 ⁻³ atm m ³ /mol
Viskositas	0,56 mPa/s
Panas pembakaran	3910,3 kJ/mol
Panas penguapan	38.01 kJ/mol

I.3 Kegunaan dan Keunggulan Produk

Stirena adalah senyawa monomer yang banyak digunakan dalam era modern, yakni sebagai prekursor untuk pembuatan polistirena serta kopolimer lain. Stirena digunakan dalam industri manufaktur seperti industri plastik, karet sintesis, cat latex, dan lain sebagainya. Dalam bidang konstruksi, stirena dapat digunakan sebagai salah satu bahan baku pembuatan pipa, *fitting*, dan tangki yang resistan terhadap korosi [9].

Penggunaan terbesar dari stirena ada pada manufaktur plastik polistirena (PS). Plastik ini digunakan dalam cukup banyak produk seperti gelas plastik, mainan, alat makan, dan kemasan. Polistirena juga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan cawan petri plastik, wadah atau *container*, lembaran *film* untuk kemasan makanan, laminasi untuk media cetak, busa peredam suara, dan insulator [10]. Polistirena memiliki sifat inert, ringan, insulasi panas dan tidak mudah rusak akibat air atau kelembapan. Karena sifat ini, polistirena cukup banyak digunakan sebagai kemasan

makanan. Selain itu, karena keringannya, polistirena juga digunakan dalam industri otomotif untuk membuat komponen yang ringan guna mengurangi beban mesin dan menjaga efisiensi bahan bakar [11]. Polistirena juga memiliki biaya produksi yang relatif lebih murah, tetapi memiliki efektivitas yang baik dan cukup mudah untuk diolah. Polistirena memiliki titik leleh pada 210°C, dan merupakan termoplastik, sehingga bisa dicetak kembali melalui proses *reforming*. Polistirena juga tidak mengalami penyusutan yang signifikan pada proses pencetakannya [12].

Selain sebagai polistirena, stirena juga bisa digunakan untuk membentuk berbagai kopolimer. Salah satunya adalah *styrene-butadiene rubber* (SBR). Bahan ini umumnya memiliki kandungan 25% stirena dan banyak digunakan dalam pembuatan ban. Hal ini dikarenakan karet SBR cukup tahan terhadap abrasi sehingga dapat digunakan sebagai pengganti karet alami [13]. Stirena juga digunakan sebagai ko-reaktan sekaligus pelarut untuk poliester tak jenuh guna membuat plastik yang diperkuat, misalnya untuk membuat bahan konstruksi dan otomotif [9].

Keunggulan dari produksi stirena ini adalah bahan baku utama yang berasal dari TKKS. TKKS mengandung unsur karbon dan oksigen yang cukup tinggi sehingga jika diproses dengan gasifikasi, akan menghasilkan *syngas* dalam jumlah yang cukup besar. Pemanfaatan TKKS dalam industri yang cukup rendah, yang hanya digunakan sebagai bahan baku kertas, pupuk, dan *biochar* maupun digunakan sebagai bahan bakar serta kompos membuat nilai bahan baku di pasaran cukup rendah. Penggunaan TKKS sebagai bahan baku pembuatan stirena dinilai dapat meningkatkan nilai guna dari limbah TKKS. Pembuatan stirena dari TKKS dengan proses gasifikasi yang menghasilkan *syngas* untuk reaksi bersama toluena, memiliki konversi reaksi yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan proses umum seperti oksidasi etilbenzena. Tidak hanya itu, apabila ditinjau segi ekonomi, bahan yang dibutuhkan yaitu *steam* dan toluena merupakan bahan yang sering dijumpai dengan harga yang relatif murah.

I.4 Ketersediaan Bahan Baku dan Analisis Pasar

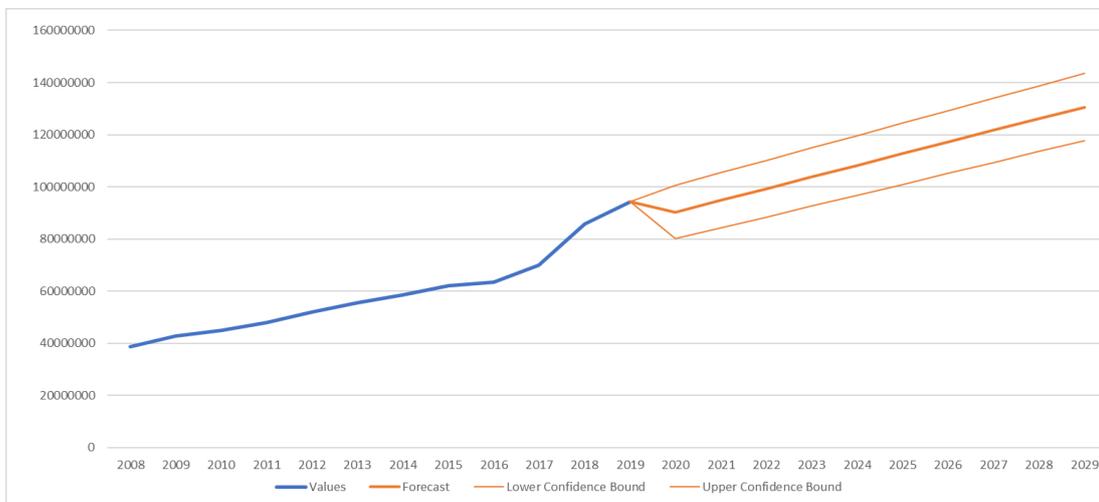
1.4.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan stirena adalah limbah TKKS dan toluena. Hingga saat ini, pemanfaatan limbah TKKS di Indonesia masih belum optimal sehingga dengan menggunakan limbah TKKS ini, nilai ekonomi dari produk samping perkebunan ini dapat meningkat. Tercatat pada tahun 2008-2013, produksi

kelapa sawit mengalami peningkatan setiap tahunnya dengan puncaknya pada tahun 2023 mencapai 93,97 juta ton dan limbah TKKS yang dihasilkan mencapai 21,07 juta ton [2]. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah TKKS sebagai bahan baku pembuatan stirena dapat dilakukan karena ketersediaan bahan yang berlimpah. Berikut data produksi kelapa sawit dan limbah tandan kosong kelapa sawit dari tahun 2008-2029 dengan bantuan metode *Forecast*.

Tabel I.4 Produksi Kelapa Sawit di Indonesia Tahun 2008-2019 [2]

Tahun	Jumlah (ton)	Tahun	Jumlah (ton)
2008	38.801.500	2014	58.556.200
2009	42.781.000	2015	62.139.800
2010	44.993.900	2016	63.462.000
2011	47.951.500	2017	69.880.600
2012	52.031.000	2018	85.767.000
2013	55.564.000	2019	94.240.400



Gambar I.3 Hasil *Forecast* Produksi Kelapa Sawit di Indonesia pada Tahun 2008-2029

Setiap ton Tandan Buah Segar (TBS) menghasilkan limbah TKKS sebesar 22-23% [14]. Dalam perhitungan jumlah limbah TKKS, diasumsikan bahwa setiap TBS menghasilkan 22,5% limbah TKKS.

Tabel I.5 Data Produksi Limbah TKKS di Indonesia Tahun 2008-2019

Tahun	Jumlah (ton)	Tahun	Jumlah (ton)
2008	8.730.337,5	2014	13.175.145
2009	9.625.725	2015	13.981.455
2010	10.123.627,5	2016	14.278.950
2011	10.789.087,5	2017	15.723.135
2012	11.706.975	2018	19.297.575
2013	12.501.900	2019	21.204.090

Tabel I.6 Produksi Limbah TKKS di Indonesia Tahun 2024-2029 dengan Analisa *Forecast*

Tahun	Jumlah (ton)
2025	25.358.816,25
2026	26.365.328,55
2027	27.371.840,85
2028	28.378.353,38
2029	29.384.865,68

Dalam proses pembuatan stirena, selain membutuhkan *syngas* yang berasal dari biomassa, dibutuhkan senyawa kimia lainnya yaitu Toluena. Dalam prosesnya, toluena akan direaksikan pada suhu tinggi dengan *syngas* sehingga menghasilkan stirena. Toluena merupakan salah satu bahan kimia yang umum digunakan. Di Indonesia terdapat beberapa pabrik penghasil toluena dengan data sebagai berikut:

Tabel I.7 Data Pabrik dan Produksi Toluena di Indonesia

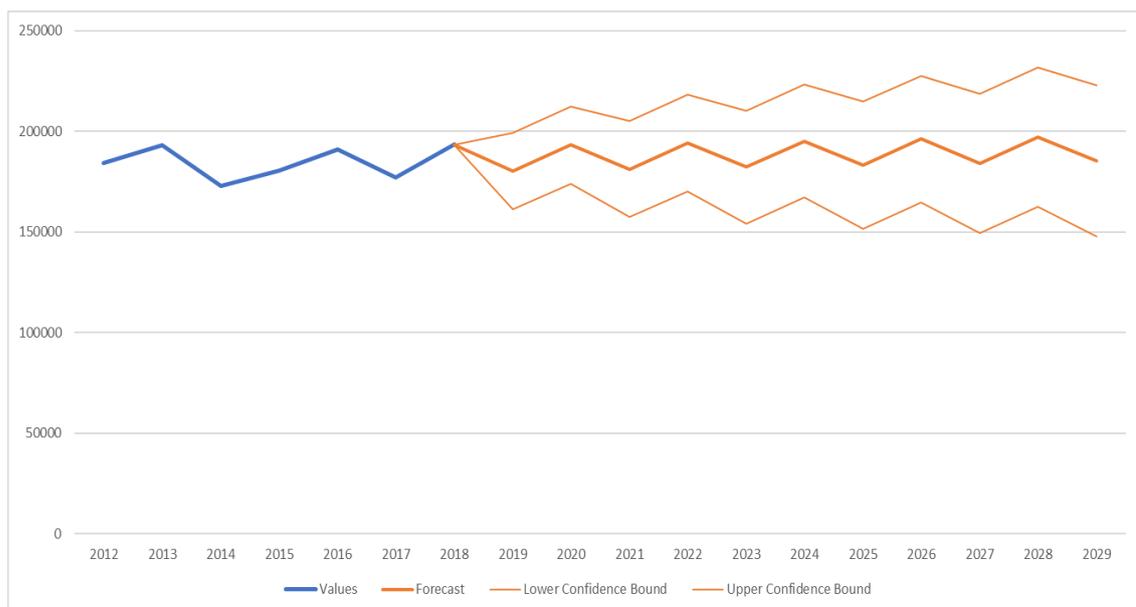
Nama Pabrik	Kapasitas Produksi
PT. Styrindo Mono Indonesia	620.000 ton/tahun
PT. Makassar Petrosel	150.000 ton/tahun
PT. Humpuss Aromatic	260.000 ton/tahun
PT. Citra Pacific Aromatic	7200/tahun

1.4.2 Analisa Pasar

Dalam perancangan pabrik stirena, diperlukan adanya analisis pasar untuk melihat seberapa besar kebutuhan produk yang dibutuhkan oleh pasar di masa mendatang. Dalam analisis pasar, dibutuhkan beberapa data pendukung seperti produksi, konsumsi, ekspor, dan impor. Menurut Prasetya dan Junaedi (2020), data konsumsi stirena di Indonesia mengalami pertumbuhan hingga 1,11% per tahun. Untuk menganalisa jumlah konsumsi stirena di Indonesia pada tahun 2029, digunakan metode analisa *Forecast* dengan data sebagai berikut:

Tabel I.8 Data Konsumsi Stirena di Indonesia pada Tahun 2014-2017

Tahun	Jumlah (ton)
2012	184.079,69
2013	193.276,20
2014	172.730,88
2015	180.660,81
2016	191.015,82
2017	177.258,93
2018	193.472,99



Gambar I.4 Hasil *Forecast* Konsumsi Stirena di Indonesia pada Tahun 2012-2029

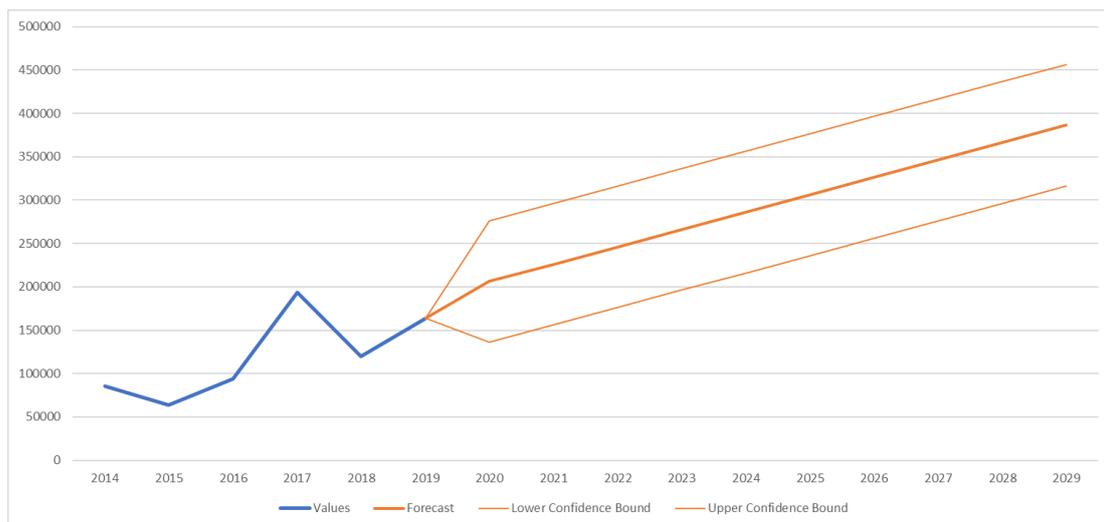
Hingga saat ini, hanya terdata satu pabrik penghasil stirena di Indonesia, yaitu PT Styrimo Mono Indonesia dengan kapasitas produksi 340.000 ton per tahun. Sementara itu, nilai ekspor stirena diperkirakan mengalami kenaikan sementara nilai impor stirena Indonesia mengalami penurunan.

Tabel I.9 Data Ekspor Stirena di Indonesia pada Tahun 2014-2019 [16]

Tahun	Jumlah (ton)	Tahun	Jumlah (ton)
2014	85.946,92	2017	193.596,1
2015	63.937,62	2018	120.174,7
2016	94.191,34	2019	163.701,9

Tabel I.10 Data Ekspor Stirena di Indonesia pada Tahun 2024-2029 dengan Analisa *Forecast*

Tahun	Jumlah (ton)
2025	306.284,75
2026	326.309,11
2027	346.333,47
2028	366.357,83
2029	386.382,2



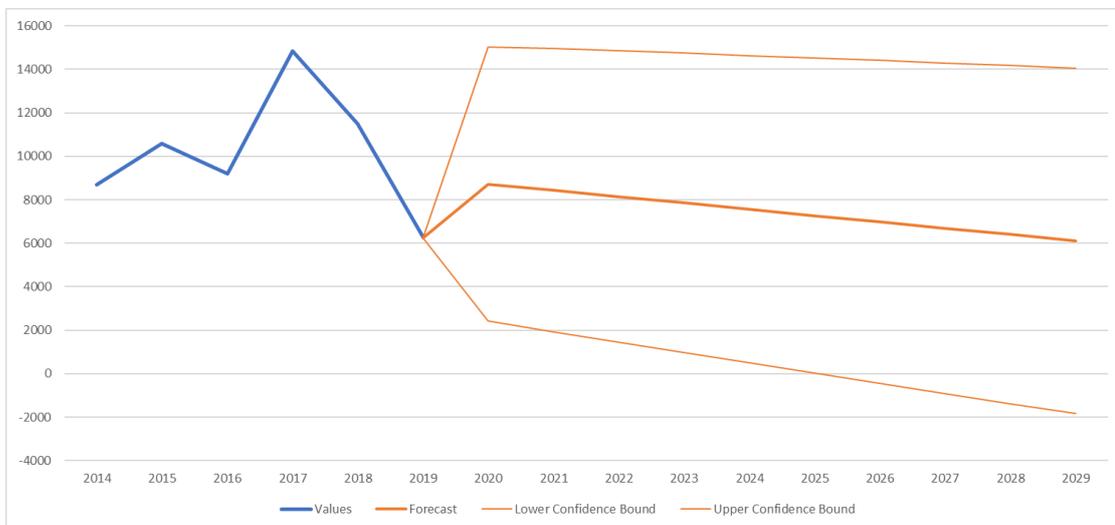
Gambar I.5 Hasil *Forecast* Ekspor Stirena di Indonesia pada Tahun 2014-2029

Tabel I.11 Data Impor Stirena di Indonesia pada Tahun 2014-2019 [16]

Tahun	Jumlah (ton)	Tahun	Jumlah (ton)
2014	8.677,802	2017	14.855
2015	10.598,43	2018	11.499,88
2016	9.207,161	2019	6.256,73

Tabel I.12 Data Impor Stirena di Indonesia pada Tahun 2024-2029 dengan Analisa *Forecast*

Tahun	Jumlah (ton)
2025	7273,37
2026	6983,38
2027	6693,40
2028	6403,41
2029	6113,42



Gambar I.6 Hasil *Forecast* Impor Stirena di Indonesia pada Tahun 2014-2029

Melalui hasil analisa terkait pasar stirena, diketahui bahwa konsumsi stirena secara lokal cukup stabil dan tidak mengalami peningkatan maupun penurunan yang signifikan. Di sisi lain, nilai ekspor stirena mengalami kenaikan terutama bagi negara Cina, Thailand, India, dan Filipina. Data ekspor terhadap ke-empat negara tersebut, beserta dengan perkiraannya disajikan sebagai berikut:

Tabel I.13 Data Ekspor Stirena terhadap Beberapa Negara pada Tahun 2014-2019
[17]

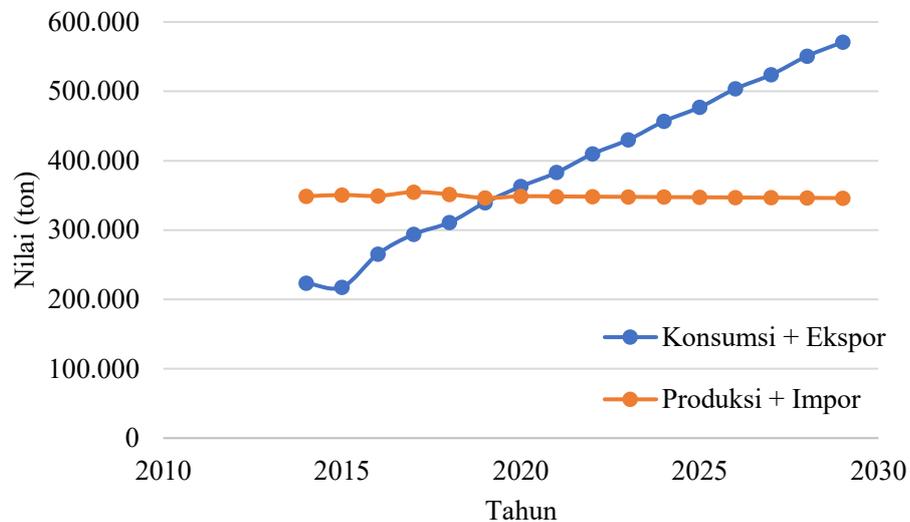
Tahun	Cina Jumlah (ton)	Thailand Jumlah (ton)	India Jumlah (ton)	Filipina Jumlah (ton)
2014	30.138,70	3.025,39	17.737,40	
2015	30.172,80	5.859,99		1.000,00
2016	31.361,80	28.054,80	14.861,50	39,97
2017	52.667,00	34.995,30	27.584,60	1.392,19
2018	102.233,00	4.000,00	8.859,48	2.180,73
2019	106.096,00	19.827,50	31.288,00	2.100,30

Tabel I.14 Data Ekspor Stirena terhadap Beberapa Negara pada Tahun 2020-2029
dengan analisa *Forecast*

Tahun	Cina Jumlah (ton)	Thailand Jumlah (ton)	India Jumlah (ton)	Filipina Jumlah (ton)
2020	127.378,81	18.268,45	21.131,97	2.751,21
2021	146.646,18	20.013,64	30.749,45	4.354,43
2022	165.913,55	21.758,83	23.795,38	4.046,87
2023	185.180,92	23.504,02	33.412,86	5.650,08
2024	204.448,29	25.249,21	26.458,80	5.342,53
2025	223.715,66	26.994,40	36.076,28	6.945,74
2026	242.983,03	28.739,58	29.122,21	6.638,19
2027	262.250,40	30.484,77	38.739,69	8.241,40
2028	281.517,77	32.229,96	31.785,63	7.933,84
2029	300.785,14	33.975,15	41.403,11	9.537,06

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, didapatkan bahwa peningkatan ekspor terhadap stirena mengalami kenaikan yang cukup pesat bilamana dibandingkan dengan konsumsi dalam negeri. Atas pertimbangan ini maka, target konsumen untuk pabrik stirena ini adalah pasar regional daerah Asia, terkhusus untuk negara Cina, Thailand, India, dan Filipina. Dikarenakan terlihat ada peluang pada pasar stirena

regional dari data konsumsi, produksi, impor, dan ekspor, maka ringkasan dan penentuan permintaan pasar stirena yakni sebagai berikut:



Gambar I.7 Grafik Kebutuhan Pasar Stirena Regional

$$\begin{aligned} \text{Kekosongan Pasar} &= \text{Ekspor} + \text{Konsumsi} - \text{Impor} - \text{Produksi} \\ \text{Kekosongan Pasar} &= 385.700,46 + 185.204,63 - 6.113,42 - 340.000 \\ \text{Kekosongan Pasar} &= 224.791,68 \text{ ton Stirena} \end{aligned}$$

Dari perhitungan kekosongan pasar pada tahun 2029, didapatkan hasil kekosongan sebesar 224.791,68 ton stirena. Hasil ini menunjukkan adanya kebutuhan pasar yang belum terpenuhi. Sehingga, ditinjau dari hasil perhitungan dan ketersediaan bahan baku pembuatan stirena, kapasitas produksi pabrik stirena berbahan dasar TKKS menunjukkan adanya kekosongan pasar China, India, Thailand, dan Filipina sekitar 224.791,68 ton stirena/tahun. Atas pertimbangan tersebut, maka pabrik stirena direncanakan akan memiliki kapasitas sebesar 226.000 ton/tahun untuk memenuhi kekosongan tersebut, dimana kelebihan produksi dapat dijual ke dalam pasar lokal. Produksi ini membutuhkan bahan baku TKKS sebesar **182.160** ton/tahun dan toluena sebanyak **208.462,32** ton/tahun.