

BAB I

PENDAHULUAN

I.1.Latar Belakang

Poliuretan atau *Polyurethane* (PU) merupakan polimer yang dibentuk oleh gugus fungsi uretan (-NHCOO-) dalam rantai utamanya (Neswati et al., 2019). PU banyak digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi di industri salah satunya yaitu untuk membuat foam (*foam*). Dalam pengaplikasiannya foam PU dapat digunakan pada perlengkapan rumah tangga seperti bahan untuk memperbaiki tempat tidur atau kursi kendaraan, isolasi dinding, isolasi lemari es, isolasi kedap suara, dan furnitur lainnya.

Dalam pembentukan foam PU dilakukan reaksi antara gugus OH (hidroksil) dari polioliol dengan gugus NCO (isosianat) serta adanya bahan pengembang (*blowing agents*) dan amina sebagai katalis (Gama et al., 2018). Pembentukan foam PU ditingkatkan dengan menggunakan polioliol yang dapat berasal dari berbagai minyak nabati. Agar penggunaan minyak nabati yang merupakan polioliol alami sebagai bahan mentah produksi polyuretan berjalan baik, dibutuhkan kandungan asam lemak tidak jenuh (ikatan rangkap) untuk bisa dikonversi menjadi polioliol. Asam lemak tidak jenuh ini secara alami terdapat dalam minyak nabati seperti minyak kelapa sawit yaitu sebesar 53,7%, minyak kedelai 85%, minyak jagung 83%, dan minyak jarak pagar yaitu sebesar 97% yang sebagian besar terdiri dari asam risinoleat sebesar 87% yang dapat langsung membentuk PU dengan isosianat menggunakan toluena diisosianat.

Bahan pengembang pada foam PU yang digunakan adalah *methylene chloride*. Selama proses pemfoaman terdapat dua reaksi yang terjadi secara bersamaan yaitu reaksi antara isosianat dan polioliol membentuk jaringan polimer dan reaksi antara isosianat dan air (pengembang) menghasilkan foam. Katalis amina digunakan untuk mempercepat reaksi kedua (Sambasivam et al., 2016).

Dalam perkembangannya diseluruh dunia, konsumsi PU diperkirakan dapat mencapai 60,5 miliar USD pada tahun 2017, dan diperkirakan akan melebihi 79 miliar USD pada tahun 2021. Diantara konsumsi PU, foam PU di global memiliki minat yang lebih banyak yaitu sekitar 67% dimana pada jenis foam fleksibel sebesar 31%, jenis foam

rigid sebesar 25%, dan foam cetakan (*molded foam*) sebesar 11%. Hal itu dikarenakan teknologi untuk memproduksi foam PU lebih mapan jika dibandingkan dengan foam yang berasal dari polimer lain. Foam PU juga memiliki daya tahan dan keserbagunaan dalam berbagai industri bahkan dapat digunakan untuk perjalanan ruang angkasa. Foam PU juga memiliki potensi yang luar biasa dalam aplikasi lingkungan yaitu dalam pencegahan polusi. Oleh karena itu, pembuatan foam PU ini memiliki perkembangan yang pesat selama bertahun-tahun di industri dan memiliki peluang usaha yang cukup tinggi (Gama et al., 2018).

I.2.Sifat-Sifat Bahan Baku dan Produk

Foam PU dibentuk dengan menggunakan bahan utama berupa polioliol yang berasal dari minyak jarak pagar serta isosianat yang berupa toluena diisosianat. Selain itu, foam PU juga membutuhkan bahan lain seperti bahan pengembang berupa karbon dioksida cair dan katalis amina.

I.2.1.Minyak jarak pagar

Polioliol minyak jarak pagar mentah berpotensi untuk dibuat polioliol nabati dan dapat digunakan sebagai bahan baku PU karena memiliki fungsionalitas (jumlah gugus OH dalam satu molekul) lebih dari satu. Polioliol terbentuk dari reaksi hidroksilasi yaitu reaksi yang menambahkan gugus hidroksi kepada suatu senyawa organik. Reaksi hidroksilasi meliputi dua tahap reaksi, yaitu reaksi epoksidasi pembentukan cincin epoksida (oksiran) dan reaksi pembukaan cincin oksiran. Reaksi khas epoksida adalah reaksi pembukaan cincin yang dapat dibuka dengan mudah di bawah kondisi asam (Sudradjat et al., 2010). Asam yang biasa digunakan adalah asam formiat dan asam asetat. Karakteristik minyak jarak pagar mentah dapat dilihat pada Tabel I.1 (LabChem, 2017)

Tabel I.1 Sifat Fisik dan Kimia Minyak jarak pagar

Sifat Fisik	
Viskositas	889,3 cSt
Densitas	0,959 g/mL
Konduktivitas termal	4,727 W/m°C
Kalor jenis	0,089 kJ/kg/K
Titik nyala	145 °C
Titik tuang	2,7 °C
Titik lebur	-2 to -5 °C
Indeks bias	1,480
Sifat Kimia	
1. Mudah terbakar	
2. Menyebabkan iritasi pada organ khusus manusia	
3. Tidak berbahaya bagi lingkungan	

Minyak jarak pagar memiliki kandungan asam lemak jenuh sebesar 3% yaitu asam palmitat dan asam stearat serta kandungan asam lemak tidak jenuh sebesar 97% yaitu asam risinoleat, asam oleat, dan asam linoleat. Berikut komposisi rantai hidrokarbon yang terdapat pada minyak jarak pagar (Ifa La, 2018):

Tabel I.2 Komposisi Rantai Hidrokarbon Minyak Jarak Pagar

Komponen	Persentase
Asam Risinoleat	87%
Asam Palmitat	2%
Asam Stearat	1%
Asam oleat	7%
Asam linoleat	3%

I.2.2. Asam Fosfat (H_3PO_4)

Asam fosfat adalah asam lemah, yang bentuk padatnya tidak berwarna. Asam fosfat sering digunakan dalam permunian minyak yaitu pada proses degumming untuk menghilangkan gum. Asam fosfat lebih efisien digunakan untuk proses degumming pada

minyak jarak pagar karena memberikan nilai persen FFA (*Free Fatty Acid*), Angka Asam, dan Angka Penyabunan yang lebih rendah daripada asam sulfat (PubChem, 2004).

Tabel I.3 Sifat Fisik dan Kimia Asam Fosfat

Sifat Fisik	
Viskositas	3,86 mPa.s
Densitas	1,892 g/mL
pH (0,1N larutan)	1,5
Tekanan uap	0,03 mmHg
Titik didih	470 °C
Titik leleh	42,4 °C
Sifat Kimia	
1. Reaktif	
2. Menyebabkan iritasi pada organ khusus manusia	
3. Tidak mudah menguap	

I.2.3. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida murni memiliki bentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk serpihan, pelet, dan butiran. NaOH dapat digunakan dalam menetralisasi minyak jarak pagar. Netralisasi melalui proses kimia dengan alkali, yang paling umum digunakan adalah dengan melarutkan NaOH. Reaksi tersebut adalah reaksi penyabunan yang terbentuk dari asam lemak bebas. Sabun yang terbentuk dapat membantu pemisahan kotoran seperti fosfatida dan protein dengan cara membentuk emulsi. Sabun atau emulsi yang terbentuk dapat dipisahkan dari minyak dengan cara sentrifugasi (Yernisa, 2013).

Tabel I.4 Sifat Fisik dan Kimia Natrium Hidroksida

Sifat Fisik	
Viskositas	78 mPa.s
Densitas	2,13 g/cm ³
pH (15%)	14
Tekanan uap	< 0,1 hPa
Titik didih	1388°C
Titik leleh	323 °C
Sifat Kimia	
1. Di udara akan cepat menyerap karbon dioksida	
2. Merupakan oksidator kuat	
3. Larut dalam hidroksida, kloroform, dan eter.	

I.2.4. Bleaching Earth

Bleaching earth merupakan bahan yang umum digunakan dalam proses pemurnian minyak, salah satunya yaitu proses bleaching/pemucatan untuk mengurangi kandungan beta karoten yang terkandung pada minyak jarak pagar (Guo et al., 2017).

Tabel I.5 Sifat Fisik dan Kimia Bleaching Earth

Sifat Fisik	
Viskositas	2,75 cps
Densitas	0,59 g/cm ³
pH (10 g/L)	10,7
Konduktansi (0,5 g/L)	66,4
Titik didih	134°C
Titik leleh	33 °C
Sifat Kimia	
1. Menyebabkan iritasi pada organ khusus manusia	
2. Memiliki tingkat adsorpsi yang tinggi	
3. Memiliki kandungan mineral tinggi	

I.2.5. Asam Asetat (CH_3COOH)

Asam asetat (CH_3COOH) merupakan bahan utama yang digunakan dalam pembuatan epoksida dalam proses reaksi epoksidasi membentuk polioliol. Dalam konsentrasi tinggi, asam asetat bersifat korosif, memiliki bau tajam dan dapat menyebabkan luka bakar pada kulit. Atom hidrogen (H) pada gugus karboksil ($-\text{COOH}$) dalam asam karboksilat seperti asam asetat dapat dilepaskan sebagai ion H^+ (proton), sehingga memberikan sifat asam (Perry & Green, 2008).

Tabel I.6 Sifat Fisik dan Kimia Asam Asetat

Sifat Fisik	
Densitas	1,049 g/cm^3
Kelarutan dalam air (23°C)	100 mg/ml
pH	4,76
Titik nyala	39°C
Titik didih	$118,1^\circ\text{C}$
Titik leleh	$16,6^\circ\text{C}$
Sifat Kimia	
1. Korosif 2. Mudah terbakar 3. Menguap diudara terbuka	

I.2.6. Asam Sulfat (H_2SO_4)

Asam sulfat adalah bahan kimia anorganik yang bersifat asam kuat dan mudah larut dalam air. Asam sulfat dalam pembuatan foam PU digunakan sebagai katalis yang mempercepat reaksi antara hydrogen peroksida dengan asam asetat (Putri et al., 2018). Sifat fisika dan sifat kimia asam sulfat disajikan pada Tabel I.7.

Tabel I.7 Sifat Fisik dan Kimia Asam Sulfat (PubChem, 2004)

Sifat Fisik	
Densitas	1,84 g/cm ³
Kelarutan dalam air (23°C)	Tercampur menyeluruh
Titik didih	337°C
Titik leleh	10°C
Bau	Tidak berbau
Penampilan	Cairan higroskopis
Sifat Kimia	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Zat anorganik yang sangat kuat 2. Tidak mudah terbakar 3. Sangat korosif 	

I.2.7. Hidrogen Peroksida (H₂O₂)

Hidrogen peroksida digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pemutih, desinfektan, dan proses oksidasi. Hidrogen peroksida merupakan bahan kimia pengoksidasi yang terbaik karena produk reaksinya adalah oksigen dan air. Untuk alasan ini, sifat pengoksidasi berharga karena menguntungkan dari sudut pandang lingkungan (Westbroek and Kiekens, 2005).

Tabel I.8 Sifat Fisik dan Kimia Hidrogen Peroksida (George and Vns, 2015)

Sifat Fisik	
Densitas	1,196 g/ml
Titik didih	114°C
Titik leleh	-52°C
Penampilan	Cairan
Sifat Kimia	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mudah menguap 2. Mudah terbakar 3. Menyebabkan iritasi pada organ khusus manusia 	

I.2.8. Metanol (CH₃OH)

Metanol merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada keadaan atmosfer metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, mudah terbakar dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan daripada etanol). Reaksi hidroksilasi merupakan reaksi eksotermis dan menggunakan metanol sebagai reaktan. Reaksi hidroksilasi dilakukan dengan penggunaan kondensor untuk menghindari penguapan metanol dan mengoptimalkan reaksi eksotermis. Metanol pada reaksi hidroksilasi digunakan sebagai zat pencampur yang berfungsi untuk menghasilkan senyawa polioliol yang baik (Annisa. 2013).

Tabel I.9 Sifat Fisik dan Kimia Metanol (INCHEM, 1994)

Sifat Fisik	
Densitas	0.7918 g/cm ³
Titik didih	64,7°C
Viskositas	0.59 mPa·s
Titik leleh	-97°C
Kelarutan dalam air	Tercampur menyeluruh
Penampilan	Cairan bening
Sifat Kimia	
1. Mudah menguap	
2. Mudah terbakar	
3. Menyebabkan iritasi pada organ khusus manusia	

I.2.9. Toluena Diisosiyanat (TDI)

TDI digunakan dalam produksi foam poliuretan, pelapis, cat, dan elastomer. PU dibentuk oleh reaksi isosiyanat dengan senyawa polihidroksi. TDI mudah bereaksi dengan air, alkohol, dan asam serta dapat terpolimerisasi dengan basa dan amina tersier (Lin et al., 2016).

Tabel I.10 Sifat Fisik dan Kimia Toluena Diisosiyanat (Chemical, 2008).

Sifat Fisik	
Viskositas	3 mPa s
Densitas	1,22 g/mL
Kalor jenis	0,089 kJ/kg/K
Titik didih	252-254 °C
Titik nyala	137 °C
Titik lebur	21 °C
Tekanan uap (pada 20 °C)	1,4 Pa
Uap jenuh (pada 20 °C)	100
Indeks bias	1,566-1570
Sifat Kimia	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mudah bereaksi dengan zat pengoksidasi yang kuat 2. Menyebabkan iritasi 3. Tidak berbahaya bagi lingkungan (berbahaya hanya bagi hewan invertebrata) 	

I.2.10. Methylene Chloride

Foam PU menggunakan zat pengembang berupa methylene chloride dan kemudian diperluas dengan pembentukan foam. Methylene chloride lebih banyak digunakan karena sifatnya yang melimpah, murah, dan tidak beracun sebagai bahan yang dapat mengembang dan dapat dikeraskan dengan menggunakan reaksi polikondensasi setelah pemuaiannya untuk menghasilkan foam poliuretan. Karakteristik methylene chloride dapat dilihat pada Tabel I.3 (Kirk and Othmer, 1995).

Tabel I.11 Sifat Fisik dan Kimia Methylene Chloride.

Sifat Fisik	
Titik didih	40°C
Titik leleh	-15°C
Tekanan uap (pada 20 °C)	350
Densitas uap	2,9
Sifat Kimia	
1. Tidak berbahaya bagi manusia dan lingkungan 2. Bahan yang Harus Dihindari: alkali kuat, oksigen, nitrogen peroksida, natrium, kalium, & pengoksidasi & logam reaktif lainnya.	

I.2.11. Ethylene Glycol (CH₂OH)₂

Etilen glikol adalah senyawa organik yang umum dipakai sebagai bahan dalam pembuatan fiber poliester, industri pabrik, serta (PET) pada botol plastik. Senyawa ini tak berwarna dan tak memiliki bau dan sedikit berbahaya. Pada industri foam, ethylene glycol digunakan untuk meningkatkan kandungan hard segment dalam matriks polimer dan memperkuat ikatan (Habibah et al., 2013).

Tabel I.12 Sifat Fisik dan Kimia Ethylene Glycol (Perry & Green, 2008)

Sifat Fisik	
Viskositas	16,2 cps
Titik didih	220°C
Titik leleh	6°C
pH	9,5
Densitas	64,70 lb/ft ³
Sifat Kimia	
1. Mudah terbakar 2. Korosif 3. Menyebabkan iritasi pada kulit dan mata manusia	

I.2.12. Foam PU

Foam PU dibentuk oleh reaksi antara prapolimer isosianat dan polioliol dengan adanya zat peniup, dan amina (katalis). Selama proses pemfoaman terdapat dua reaksi yang terjadi secara bersamaan yaitu reaksi antara isosianat dan polioliol (gelasi) membentuk jaringan polimer dan reaksi antara isosianat dan air (pengembang) menghasilkan buih. Katalis amina bertujuan untuk mempercepat reaksi kedua. Karakteristik foam PU dapat dilihat pada Tabel I.4 (Electrolube, 2017).

Tabel I.13 Sifat Fisik dan Kimia Foam Poliuretan.

Sifat Fisik	
Densitas	25 kg/m ³
Kekerasan	4,19 kPa
Fleksibilitas	44,1%
Ketegangan	2,4%
Modulus Penyimpanan	1,957
Sifat Kimia	
Tidak menyebabkan iritasi	
Tidak berbahaya bagi manusia dan lingkungan	

I.3. Kegunaan dan Keunggulan Produk

Foam PU digunakan di berbagai aplikasi industri dan sudah teruji keunggulan produknya sehingga foam PU lebih banyak diminati hingga menjadi kebutuhan masyarakat. Berikut beberapa aplikasi yang menggunakan foam poliuretan:

1. Produk untuk tempat tidur, kursi kendaraan, dan furnitur lainnya.
2. Produk kemasan yang sering digunakan untuk mengemas peralatan yang sangat sensitif seperti elektronik, perhiasan, dan alat labotarium.
3. Produk tekstil seperti produk bagian atas sepatu.
4. Dapat digunakan sebagai isolator panas dan peredam suara

Foam PU dapat meningkatkan kualitas manusia karena produk ini memiliki beberapa keunggulan yaitu ramah lingkungan, tidak beracun, biaya rendah, dan tidak menyebabkan iritasi pada tubuh manusia (Pauzi and Pz, 2014). Asam risinoleat pada

minyak jarak pagar mentah banyak mengandung tiga gugus hidroksil dimana akan menghasilkan *cross-linked polymer* yang dapat memperkuat struktur foam PU dan mencegah penyusutan foam sehingga memiliki daya tahan yang lama.

I.4.Ketersediaan Bahan Baku dan Analisis Pasar

I.4.1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama untuk membuat foam PU adalah PU yang ditambahkan dengan polyol dari minyak jarak pagar mentah dan toluena diisosianat. Minyak jarak pagar mentah dapat diperoleh di dalam negeri yaitu dari pabrik PT Alegria Indonesia di Pasuruan yang dapat memproduksi 1,2 juta ton/tahun (Heruhadi, 2012). Bahan baku toluena diisosianat diperoleh dari PT. Perdana Chemindo Perkasa di Surabaya yang dapat memproduksi sebesar 1,4 juta ton per tahun (Nasruddin, 2019).

I.4.2. Analisa Pasar

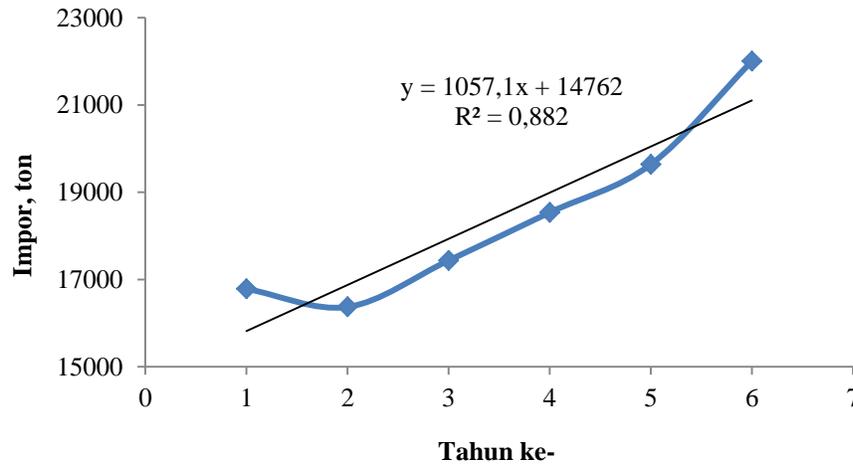
I.4.2.1. Impor Foam Poliuteraan

Berikut data impor foam poliuteraan menurut Badan Pusat Statistik (BPS) dari tahun 2014 sampai 2019 pada Tabel I.4.1 (BPS,2019).

Tabel I.4.1. Data Impor Foam PUDI Indonesia

Tahun	Tahun ke-	Impor, ton
2014	1	16.785
2015	2	16.372
2016	3	17.436
2017	4	18.537
2018	5	19.639
2019	6	22.004

Berdasarkan data Tabel I.4.1, dibuat kurva hubungan data impor foam PU dengan tahun seperti yang disajikan pada Gambar I.4.1.



Gambar I.4.1. Kurva Impor Foam PU di Indonesia

Dari kurva tersebut, didapat persamaan linear:

$$y = 1.057,1x + 14.762$$

Dengan persamaan di atas diperkirakan untuk tahun 2025 (tahun ke-12) kebutuhan impor foam PU di Indonesia sebesar:

$$y = 1.057,1x + 14.762$$

$$y = 1.057,1(12) + 14.762$$

$$y = 27.447 \text{ ton}$$

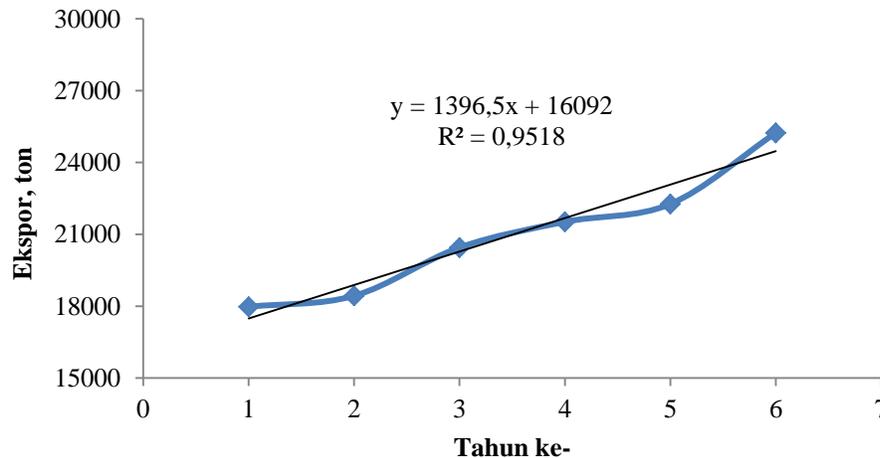
I.4.2.2. Ekspor Foam Poliuteraan

Data ekspor foam PU di Indonesia dapat dilihat pada Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2014 sampai 2019 yang telah disajikan pada Tabel I.4.2 (BPS, 2019).

Tabel I.4.2. Data Ekspor Foam PU Di Indonesia

Tahun	Tahun ke-	Ekspor, ton
2014	1	17.975
2015	2	18.431
2016	3	20.448
2017	4	21.521
2018	5	22.267
2019	6	25.234

Berdasarkan data Tabel I.4.2, dibuat kurva hubungan data ekspor foam PU dengan tahun seperti yang disajikan pada Gambar I.4.2.



Gambar I.4.2. Kurva Ekspor Foam PU di Indonesia

Ekspor foam PU di Indonesia pada tahun 2025 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$y = 1.396,5x + 16.092$$

dimana: x = tahun

y = jumlah ekspor foam poliuretan

Dari persamaan di atas diperkirakan untuk tahun 2025 (tahun ke-12) kebutuhan ekspor foam PU di Indonesia sebesar:

$$y = 1.396,5x + 16.092$$

$$y = 1.396,5(12) + 16.092$$

$$y = 32.850 \text{ ton}$$

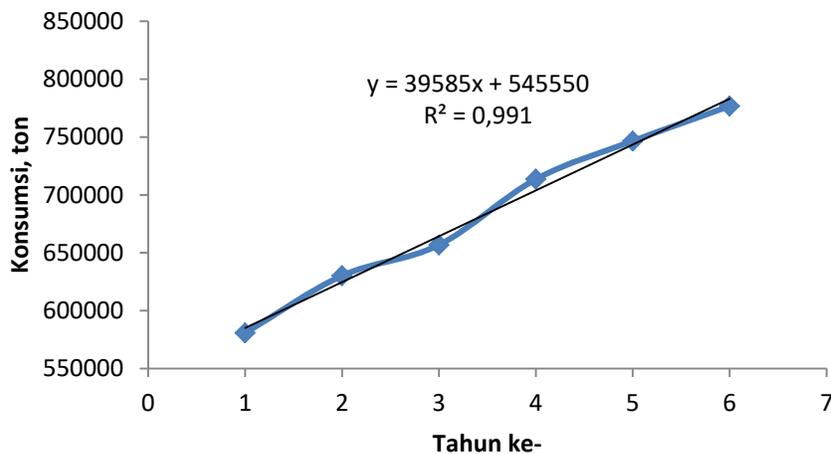
I.4.2.3. Konsumsi Foam Poliuretan

Foam PU dalam industri banyak digunakan di berbagai peredam suara dan isolasi panas maupun dinding. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) didapatkan data konsumsi foam PU di Indonesia yang telah disajikan pada Tabel I.4.3 (BPS, 2019).

Tabel I.4.3. Data Konsumsi Foam PU di Indonesia

Tahun	Tahun ke-	Kapasitas, ton
2014	1	580.769
2015	2	630.221
2016	3	656.778
2017	4	713.567
2018	5	746.530
2019	6	776.722

Berdasarkan data Tabel I.4.3, dibuat kurva hubungan data konsumsi foam PU dengan tahun seperti yang disajikan pada Gambar I.4.3



Gambar I.4.3. Kurva Konsumsi Foam PU di Indonesia

Perkiraan konsumsi foam PU di Indonesia pada tahun 2025 (tahun ke-12) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$y = 39.585x + 545.550$$

Dengan persamaan di atas diperkirakan untuk tahun 2025 kebutuhan foam PU sebesar :

$$y = 39.585x + 545.550$$

$$y = 39.585(12) + 545.550$$

$$y = 1.020.570 \text{ ton}$$

I.4.2.4. Kapasitas Produksi

Foam poliuretan memiliki banyak kegunaan di berbagai aplikasi seperti dalam peredam suara dan isolasi dinding. Oleh karena itu, produksi foam poliuretan terus meningkat setiap tahunnya di Indonesia. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel I.4.4. yang telah disajikan sebagai berikut.

Tabel I.4.4. Kapasitas Pabrik Foam PU di Indonesia

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas, ton
PT. Royal Foam	Surabaya	227.042
PT. SkyFoam Indonesia	Puwakarta	282.917
PT. Aneka Foam Indonesia	Tangerang	254.520
PT. Foamindo Industri Uretan	Tangerang	211.404
Total		975.883

Di Indonesia total produksi foam PU mencapai 1.049.981 ton, Sehingga kekosongan pasar foam PU pada tahun 2025 dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$[\text{Ekspor} + \text{Kebutuhan}] = [\text{Impor} + \text{Produksi}]$$

Didapatkan:

$$\text{Impor} = 27.447 \text{ ton}$$

$$\text{Ekspor} = 32.850 \text{ ton}$$

$$\text{Konsumsi/kebutuhan} = 1.020.570 \text{ ton}$$

$$[\text{Ekspor} + \text{Kebutuhan}] = [\text{Impor} + \text{Produksi}]$$

$$\text{Kekosongan Pasar} = [\text{Ekspor} + \text{Kebutuhan}] - [\text{Impor} + \text{Produksi}]$$

$$= [32.850 + 1.020.570] - [27.447 + 975.883]$$

$$= 50.090 \text{ ton} \approx 50.000 \text{ ton/tahun}$$

Berdasarkan hasil dari persamaan diatas, telah ditentukan bahwa foam PU akan diproduksi dengan kapasitas produksi sebesar 50.000 ton/tahun.