

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar belakang

Industri polimer memiliki peran yang cukup penting dalam dunia industri. Poli mer dibuat dengan mengikat molekul-molekul kecil yang disebut monomer menjadi polimer dengan proses polimerisasi. Beberapa bentuk turunan polimer diantara adalah polietilena (PE), nilon, poli vinil klorida (PVC), polikarbonat (PC), polistirena (PS), dan karet *silicon*. Polystyrene (PS) adalah polimer serbaguna yang digunakan dalam beberapa bentuk (*Polystyrene general, Polystyrene* yang dapat diperluas, *Polystyrene*) untuk mewujudkan objek untuk banyak aplikasi seperti pengemasan, perangkat elektronik, isolator dan daur ulangnya menimbulkan tantangan besar bagi ilmu pengetahuan dunia (Piero Frediani, Andrea Undri, Luca Rosi et al, 2014).

Polystyrene (POLYSTYRENE), merupakan kopolimer dan mengandung 5% hingga 10% karet butadiena untuk meningkatkan kekuatan benturan. Termasuk ke dalam golongan termoplastik besar berdasarkan dari jumlah produksi produk di industri (Rossenberger, J.A., 1983). Produk ini sering digunakan sebagai bahan pengemasan, barang konsumen institusional, bangunan konstruksi, industri atau mesin. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik terkait impor *polystyrene* di Indonesia cukup tinggi. Hal ini dapat dilihat pada data 2 tahun terakhir yaitu mencapai angka kisaran >35.000 ton/tahun (Badan Pusat Statistik, 2022).

Oleh sebab itu, terdapat kebijakan pemerintah mengenai sektor bidang industri terutama pada pembangunan pabrik kimia, yaitu mengenai pembangunan pabrik yang diharapkan dapat menjadi tolak ukur dalam menyelesaikan permasalahan ketergantungan bahan impor industri di Indonesia. Proses pembuatan *Polystyrene* dilakukan dengan proses *bulk continuous* dimana pada proses ini menggunakan reaktor alir tangki berpengaduk (CSTR/RATB) yang diperkirakan produk yang dihasilkan

lebih seragam, kemurniannya lebih tinggi dan pengontrolan suhu

lebih mudah. Maka dari itu dibutuhkan pembangunan industri yang dapat memenuhi kebutuhan bahan baku maupun barang jadi dalam negeri, salah satunya dengan adanya pembangunan pabrik *polystyrene*. Dengan hal ini, pengajuan proposal pra rancangan pabrik *Polystyrene* (polystyrene) diharapkan dapat memenuhi permintaan industri dalam negeri sehingga dapat mengurangi angka impor dan dapat menjadi peluang terbukanya lapangan kerja bagi masyarakat Indonesia.

I.2. Tinjauan Pustaka

I.2.1. Styrene

Polimerisasi stirena dapat dimulai secara termal dan dengan peroksida bifungsional, mengikuti kinetika konvensional dari inisiasi radikal bebas, propagasi, terminasi, dan transfer rantai. Inisiasi termal menjadi substansial pada suhu polimerisasi di atas 100°C (Chen, kai, Peter Voth, dkk., 2000). Kinetika dan termodinamika polimerisasi stirena dalam larutan terjadi dengan pemutusan ikatan satu gugus peroksida dan bukan dengan pemutusan ikatan simultan dari dua gugus peroksida (Yoon Won Jung, Jea Hoon Ryu, and Yeung Ho Park, 1998). Akan tetapi, karena konstanta kinetik dari reaksi perantara inisiasi termal tidak diketahui, penulis menganggap bahwa semua konstanta tidak tergantung pada ukuran rantai polimer tetapi dapat bervariasi dengan konversi (Hui, A.W and Hamielec, A.E., 1972)

I.2.2. Polystyrene

Polistirena membentuk kelas lain dari polihidrokarbon. Polimer dari kelas ini memiliki banyak aplikasi praktis. Makromolekul tipe polistirena memiliki gugus benzena yang terikat pada rantai karbonjenuh. Polimer yang paling umum di kelasnya adalah polistirena (PS), yang diperoleh dengan polimerisasi stirena, biasanya dengan adanya inisiator peroksida. Pembentukan *Polystyrene* dapat dilakukan melalui beberapa metode. Metode yang paling banyak digunakan adalah pirolisis dan polimerisasi larutan. Berbagai jenis *Polystyrene* dalam reaktor *FixedBed* tanpa atau dengan adanya katalis basa atau zeolite dipirolisis oleh

Acilias et al. memperoleh cairan kaya stirena (hingga 70%). Cairan tersebut digunakan sebagai bahan awal, tanpa pemurnian lebih lanjut, untuk polimerisasi stirena. Polimer ini memiliki karakteristik yang mirip dengan *Polystyrene* asli. Namun senyawa aromatik lain yang ada, bekerja sebagai agen pemindah rantai, menurunkan berat molekul rata-rata *Polystyrene*. Oleh karena itu *Polystyrene* yang disintesis memiliki kinerja yang lebih rendah daripada polimer yang dibuat dari stirena murni (Bergstrom, E. V. and Mitchell, J. G, 1966).

Polystyrene memiliki karakteristik yang sangat baik yang diperlukan untuk digunakan dalam produk komersial dan industri, baik sebagai bahan murni atau kopolimer. Karakteristik ini termasuk pemrosesan yang mudah di bawah cetakan injeksi, sifat mekanik yang relatif baik, transparansi, karakteristik isolasi listrik yang baik, dll. Polistirena dapat dianggap sebagai polimer vinil karena monomernya memiliki fenil yang terikat pada gugus vinil. Namun, polistiren biasanya dipandang sebagai kelas terpisah dari polimer vinil lainnya. Polistirena dengan gugus alkil tersubstitusi pada cincin benzena juga dikenal dalam praktiknya, tetapi aplikasinya lebih terbatas. Selain polistirena, polimer umum lainnya dalam kelas ini adalah poli (*a*-metil stirena), di mana gugus alkil (metil) terikat pada tulang punggung polimer pada atom karbon yang sama dengan cincin benzena (S.C. Moldoveanu, 2005).

Untuk membedakan antara polistirena isotaktik dan bahan sindiotaktik, perlu untuk menyelidiki fragmen tetramer (lebih tinggi) yang ada dalam pirogram, dengan cara yang sama seperti yang ditunjukkan untuk polipropilena. Fragmen tetramer dari *isotactic Polystyrene* dan *Syndiotactic Polystyrene* adalah diastereoisomer dan dapat dipisahkan oleh GC pada kolom non kiral (Laur Eva, Evgueni Kirillov, and Jean-Francois Carpentier, 2017).

I.2.3. Metode Proses Produksi *Polystyrene*

A. Polimerisasi *Bulk*

Dalam industri umumnya, polimerisasi *Bulk* (larutan) disebut polimerisasi polimerisasi massa. Sebagian besar polistirena polistirena yang diproduksi sekarang ini menggunakan proses ini. Pada proses ini menggunakan sejumlah *Solvent* yang biasanya adalah monomer stirena itu sendiri dan etil benzena. Ada 2 jenis polimerisasi *bulk* yaitu:

- Polimerisasi *Bulk Batch*

Beberapa produsen polistirena masih menggunakan proses ini, dimana proses ini terdiri dari unit polimerisasi yang didalamnya terdapat tangki polimerisasi berpengaduk dengan konversi di atas 90%. Larutan polimer kemudian dipompa ke bagian *finishing* untuk devolatilisasi ataupun proses polimerisasi akhir. Karna prosesnya yang bersifat *batch*, waktu pengerjaan yang perlukan juga lebih lama daripada metode polimerisasi yang bersifat *continuous*. Akan tetapi prosesnya tergolong proses yang sederhana dan sangat ekonomis.

- Polimerisasi *Bulk Continuous*

Proses ini merupakan proses pembuatan polistirena yang paling paling banyak digunakan. Ada beberapa jenis desain dimana beberapa diantaranya sudah mendapatkan lisensi. Secara umum proses ini terdiri dari satu atau lebih reaktor tangki berpengaduk (CSTR). CSTR ini biasanya diikuti oleh satu atau lebih reaktor yang didesain untuk menangani larutan yang kental (viskositas tinggi). Metode ini menghasilkan produk dengan kemurnian yang sangat tinggi yakni mencapai 98-99 %. Metode ini cocok digunakan untuk pabrik dengan skala yang besar.

(Patent, 1983)

B. Polimerisasi Suspensi

Polimerisasi suspensi adalah sistem *Batch* yang sangat populer untuk tahapan khusus pembuatan polistirena. Proses ini dapat digunakan untuk memproduksi kristal maupun polystyrene. Untuk memproduksi polydyrene, stirena dan larutan karet diolah dengan *Bulk Polymerized* melalui fase inverse. Kemudian disuspensikan ke dalam air untuk mendapatkan suspensi air dan minyak dengan menggunakan sabun atau zat pesuspensi. Kemudian butiran suspensi ini dipolimerisasi lagi sampai selesai dengan menggunakan inisiator dan pemanasan bertahap. Fase air digunakan sebagai *heat sink* dan media perpindahan panas terhadap jaket yang dikontrol suhunya. WO98/51735 menjelaskan *Styrene Polymer* yang dapat diperluas yang terdiri dari partikel grafit dan telah mengurangi termal konduktivitas, ini dapat diperoleh melalui polimerisasi suspensi atau melalui ekstrusi dalam ekstruder sekrup kembar. Gaya geser yang tinggi pada pengestrusi *Win-Screw* umumnya menghasilkan pengurangan berat molekul yang signifikan dari polimer yang digunakan, Polimer daur ulang yang terdiri dari poli termoplastik dan atau beberapa penguraian zat aditif seperti penghambat api (ranz-JosefDietzen, et al., 2010).

C. Polimerisasi Emulsi

Polimer yang diturunkan dari polistirena tetapi memiliki gugus alkil atau aril yang tersubstitusi pada cincin benzena disintesis dalam upaya untuk meningkatkan beberapa sifat polistirena seperti ketahanan benturan dan mendapatkan kualitas yang serupa dengan yang dicapai dengan menggunakan kopolimer dengan 1,3-butadiena. Polimer yang termasuk dalam kelas ini adalah poli(3-metilstirena), poli(4-metilstirena), poli(4-fenilstirena). Keuntungan dari proses ini adalah memiliki proses yang cukup cepat, lalu proses polimerisasinya dapat dilakukan secara kontinyu, serta mudah dalam mengendalikannya dan memiliki viskositas massa reaksi yang jauh

lebih kecil. Dan untuk kekurangannya adalah sulit untuk memperoleh polimer yang murni, diperlukannya teknologi untuk mengambil polimer padat, prosesnya yang cukup rumit dan air dalam massa reaksinya dapat menurunkan yield per volume reaktor serta kurang menguntungkan dalam segi ekonomi (Kirk, R.E., Othmer, V.R, 1982).

Tabel I. 1. Perbandingan Metode Pembuatan *Polystyrene*

No	Kriteria	P. Bulk Batch	P. Bulk Continuous	P. Suspensi	P. Emulsi
1.	Bahan baku	Monomer stirena	Monomer stirena	Monomer stirena	Monomer stirena
2	Fase	Cair	Cair	Cair	Padat-Gas
3.	Reaktor	Batch	RATB	Batch	PBR
4.	Suhu	90-100 °C	100-130 °C	60-80 °C	90-100 °C
5.	Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	1 atm
6.	Konversi	99 %	98-99 %	90-99 %	88,93 %
7.	Pelarut	Etil benzena	Etil benzena	3-mercaptopethyl methacrylate	Non-ionic surfactant
8.	Inisiator	Benzoil peroksida	Benzoil peroksida	Azobisobutryl nitrile	Diisopropyl Peroxydicarbon

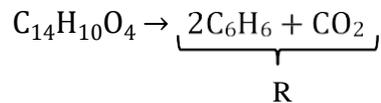
(Stevvens, Malcolm P, 1999) Dengan membandingkan metode dari proses pembuatan

Polystyrene (polystyrene) yang disebutkan di atas, proses yang dipilih adalah proses polimerisasi *bulk continuous*. Selain kelebihan seperti disebutkan di atas, polimerisasi *bulk continuous* dipilih karena prosesnya menggunakan fase homogen. Pada saat

A. Tahap Inisiasi

Tahapan awal yang dimana sebagai tempat terjadinya pembentukan radikal bebas. Reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah:

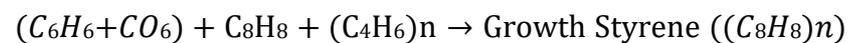
Reaksi pembentukan radikal bebas:



Dimana R merupakan Rantai *Benzelyc* yang nantinya akan direaksikan dengan reaksi polimer karet.

B. Tahap Propagasi

Setelah radikal bebas terbentuk, maka reaksi polimer karet (*styrene-polybutadiene*) akan bereaksi dengan radikal *benzelyc* yaitu ketika *benzoyl* peroksida bereaksi.



Pada tahap ini terbentuk *grow styrene* dengan adanya penambahan konversi hingga mencapai 86%.

Kecepatan reaksi pada tahap propagasi adalah:

$$r_p = k_p[RM^*][M] \quad (1)$$

Dimana:

r_p = kecepatan reaksi tahap propagasi, mol/(L.jam)

k_p = Konstanta kecepatan reaksi tahap propagasi, L/(mol.jam)

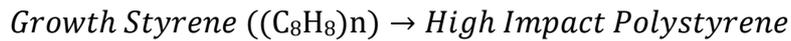
$[RM^*]$ = Konsentrasi radikal monomer, mol/L

$[M]$ = Konsentrasi monomer *grow styrene*, mol/L

C. Tahap Terminasi

Reaksi terminasi dapat berupa terminasi kombinasi atau terminasi disproporsionasi atau keduanya. Huang dkk. (1995) mengabaikan reaksi terminasi termasuk radikal primer, radikal CTA, radikal monomer, radikal polimer tulang punggung dan radikal inisiator. Ini karena masing-masing konsentrasi ini beberapa kali

lipat lebih rendah daripada spesies radikal polimer. Reaksi yang terjadi pada tahap terminasi adalah:



Kecepatan reaksi pada tahap terminasi adalah:

$$r_t = 2kt[M^*]^2 \quad (2)$$

Dimana:

r_t = Kecepatan reaksi tahap terminasi, mol/(L.jam)

kt = Konstanta kecepatan reaksi tahap terminasi, L/(mol.jam)

$[M^*]$ = Konsentrasi radikal monomer, mol/L

(Yu Ning, 2015)

Apabila diasumsikan konsentrasi radikal bebas tetap, maka kecepatan reaksi inisiasi sama dengan kecepatan reaksi terminasi.

$$r_d = r_t \quad (3)$$

$$2fkd[I] = 2kt[M^*]^2 \quad (4)$$

$$[M^*] = \sqrt[0.5]{\frac{f.kd.[I]}{kt}} \quad (5)$$

Persamaan (5) disubstitusikan ke persamaan (1), sehingga

$$r_p = \sqrt[0.5]{\frac{f.kd.[I]}{kt}} k_p . [M] \quad (6)$$

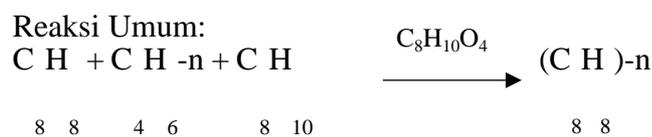
$$K = k_p \sqrt[0.5]{\frac{f.kd.}{kt}} \quad (7)$$

Jika K merupakan konstanta kecepatan reaksi secara *overall*, maka:

$$r_p = K[I]^{0.5} . [M] \quad (8)$$

Persamaan (8) merupakan konstanta kecepatan reaksi polimerisasi yang akan digunakan untuk merancang *reactor*.

(Yu Ning, 2015)



Faktor efficiency	= 0,8 (wiley A.J, 2013)
Faktor reactor	= 98%
Konstanta propagasi (kp)	= 35 L/mol.s (wiley A.J, 2013)
Konstanta terminasi (kp)	= 10^7 L/mol.s (wiley A.J, 2013)
Konstanta Inisiasi (kp)	= $0,027773 \times 10^7$ (Bandrup J, Immergut EH, et al (1999)

maka

$$k = 52120,0297 \times 10^{-4} \text{ L}^2/\text{mol.s}$$

I.3.2. Tinjauan Termodinamika

Reaksi propagasi alkena menyiratkan pembentukan ikatan- σ dari ikatan- π dan ini membuat entalpi propagasi (ΔH) negatif (eksotermik dan menguntungkan). Di sisi lain, entropi propagasi (ΔS) negatif dan tidak menguntungkan (rantai polimer mewakili keadaan yang lebih teratur daripada molekul monomer yang tidak terikat); namun, nilai absolut ΔH adalah dominan. Oleh karena itu, ΔG ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$) yang dihasilkan adalah negatif dan menguntungkan.

Tabel I. 2 *Heat of Polymerization of Some Common Monomers In Differents Unit*

Monomer	ΔH_p (KJ/mol)	ΔH_p (kcal/mol)	ΔH_p (cal/g)	T (°C)
<i>Butadiene</i>	73	17.5	323	25
<i>Isoprene</i>	75	17.9	263	25
<i>Ethylene</i>	101.5	24.3	866	25
<i>Acrylonitrile</i>	76.5	18.3	345	74.5
<i>Methacrylic Acid</i>	64.5	15.4	179	25
<i>Methyl methacrylate</i>	55.6	13.4	134	74.5
	56	13.4	134	130
<i>Acrylic Acid</i>	67	16.0	222	74.5
<i>Methyl Acrylate</i>	78	18.7	187	74.5
	81.8	19.6	227	80
<i>Ethyl Acrylate</i>	78	18.7	187	74.5
	80.7	19.3	193	90
<i>Butyl Acrylate</i>	78	187	146	74.5

Monomer	ΔH_p (KJ/mol)	ΔH_p (kcal/mol)	ΔH_p (cal/g)	T (°C)
<i>Styrene</i>	70	16.7	160	25
	73	17.5	168	127
<i>Vinyl Chloroide</i>	71-111.5	17-27	272-432	25
	96	23	368	74.5
<i>Vinyl Acetate</i>	88	21.1	245	74.5

Reaksi pembuatan high impact polistirena dapat dilihat dari harga entalpi sebagai berikut:

$$\Delta H = Q = \Delta H^{\circ}_{f_{25^{\circ}\text{C}}} - \Delta H_f - \Delta H_R \quad (9)$$

Untuk estimasi Cp (kapasitas panas) bahan berupa cairan dapat dilihat berdasarkan kontribusi gugus atom (Perry, Robert H, 1997)

Tabel I. 3. Nilai Estimasi Kapasitas Panas (Cp)

Ikatan	Cp (J/mol K)
-CH ₂ -	30,38
=CH ₂	21,76
$\begin{array}{c} \\ =\text{C}- \end{array}$	15,9
=CH-	21,34
$\begin{array}{c} \\ -\text{CH}- \end{array}$	20,92
-CH ₃	36,82

Besarnya harga kapasitas panas (Cp) cairan adalah (Perry, Robert H, 1997) $C_p = i$

Dimana:

C_p = Kapasitas panas padatan pada suhu 298 K (J/mol K)

n = Jumlah Perbedaan elemen atom pada senyawa

N_i = Jumlah elemen atom pada senyawa

ΔC_{pi} = Kapasitas panas cairan

Maka C_p masing-masing komponen dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_p \text{ styrene} = (-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{C}-) \overset{|}{\text{CH}}=\text{CH}_2$$

$$= 165,7 \text{ J/mol K}$$

$$C_p \text{ Polystyrene} = [-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-] [(-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{C}-) \overset{|}{\text{CH}}-\text{CH}_2-] \overset{|}{\text{CH}}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_2[-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2]$$

$$= 483,38 \text{ J/mol K}$$

$$C_p \text{ ethylbenzene} = (-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{C}-) \text{CH}_2-\text{CH}_3$$

$$= 189,8 \text{ J/mol K}$$

$$C_p \text{ benzene} = -\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-$$

$$= 128,04 \text{ J/mol K}$$

$$C_p \text{ Benzoil peroxide} = \text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$$

$$= 281,74 \text{ J/mol K}$$

Panas pembentukan Standar (ΔH°_f 298)

Dari (Perry, 1997) table 2-388, diperoleh estimasi ΔH°_f 298 untuk ikatan (kJ/mol) adalah:

Tabel I. 4. Estimasi Panas Pembentukan Standar (ΔH°_f 298)

Ikatan	ΔH_i (J/mol K)
$-\text{CH}_2-$	-20,64
$=\text{CH}_2$	-9,63
$\overset{ }{=}\text{C}-$	83,99
$=\text{CH}-$	37,97
$-\text{CH}-$ $ $	29,89

|

Maka didapatkan $\Delta H^{\circ f}_{298}$ untuk masing-masing senyawa menggunakan persamaan:

$$\Delta H^{\circ f}_{298} = 68,29 + \sum Ni \Delta Hi \quad (10)$$

(Perry, Robert H, 1997)

Tabel I. 5. Harga Cp dan $\Delta H^{\circ f}$

Nama	$\Delta H^{\circ f}$ (KJ/mol)	Cp (J/mol.K)
C_8H_8	370,47	165, 7
$(C_8H_8)_n$	1349,53	483,38

Standar gas ideal Gibbs energi pembentukan ($\Delta G^{\circ f}_{298}$) suatu senyawa kimia adalah pertambahan energi gibbs yang terkait dengan reaksi pembentukan senyawa tersebut dalam keadaan gas ideal dari unsur-unsur penyusunnya keadaan standar didefinisikan sebagai fase yang ada pada suhu 298,15 K dan satu atmosfer (101,325 kPa).

Tabel I. 6. Estimasi Nilai Energi Gibbs ($\Delta G^{\circ f}_{298}$)

Ikatan	$\Delta G^{\circ f}_{298}$ (KJ/mol K)
-CH ₂ -	8,42
=CH ₂	3,77
$\begin{array}{c} \\ =C- \end{array}$	92,36
$\begin{array}{c} =CH- \\ \end{array}$	48,53
$\begin{array}{c} \\ -CH- \end{array}$	29,89

Maka didapatkan $\Delta G^{\circ f}_{298}$ untuk masing-masing senyawa menggunakan persamaan:

$$\Delta G^{\circ f}_{298} = \sum_{i=1}^n Ni \Delta Gi \quad (11)$$

Dimana:

ΔG°_{f298} = Gibbs energy pada suhu 298 K, J/mol

n = Jumlah kelompok atom yang berbeda yang terkandung dalam molekul

N_i = Jumlah *atomic group* yang terkandung dalam molekul

ΔG_i = Nilai numerik kelompok atom I diperoleh dari table 2-388

Tabel I. 7. Nilai Energi Gibbs (ΔG°_{f298})

Ikatan	ΔG°_{f298} (kJ/mol K)
Styrene	441,19
polystyrene	700,31

$$\Delta G = [(163,78 + 441,19) - 700,31] \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = -95,34 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = -95340 \text{ J/mol}$$

Data Kapasitas Panas Pada T 298,15 K dan 403,15 K

Komponen	$\Delta H_{298,15 \text{ K}}$	$\Delta H_{403,15 \text{ K}}$
	kJ/kmol	kJ/kmol
styrene	148,3000	15.288,2228
ethyl benzene	29,9000	2.766,8631
polibutadiena	102,9500	10.809,7500
benzene	82,9000	8.472,7178
polystyrene	439,2000	46.116,0000
Benzoyl Perokside	691,9100	72.650,5500

$$\Delta H_r = \sum_{\text{produk}} v_i \Delta f_0 - \sum_{\text{reaktan}} v_i H_{f0}$$

$$\Delta H_r = 439,2 - (148,3 + 29,9 + 102,95 + 82,9)$$

$$\Delta H_r 298 = -616,7600 \text{ KJ/kmol}$$

$$\Delta H_r 403,15 = -63.872,1037 \text{ KJ/kmol}$$

Pada kasus di atas, reaksi berjalan secara searah atau *irreversible*. Karena nilai pada reaksi polimerisasi bernilai negatif, maka reaksi pembentukan *polystyrene* bersifat eksotermis (melepaskan panas) dan reaksi berlangsung secara spontan ($\Delta G < 0$) ($T_{ref} = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$)

Menghitung nilai K:

Maka dari itu, dengan reaksi polimerisasi styrene pada suhu trial (90°C) dan suhu 25°C , maka energi gibbs:

$$\Delta G = -RT \ln K \quad K = \frac{\Delta G}{-RT}$$

$$\ln K = \frac{-95340 \text{ J/mol}}{-8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 363,15 \text{ K}}$$

$$\ln K = 31,5776 \quad K = 5,1758 \times 10^{13}$$

Pada hasil konstanta kesetimbangan di atas, dapat dikatakan bahwa reaksi berjalan irreversible atau searah, yaitu reaksi kesetimbangan cenderung kearah produk.

I.4. Kegunaan Produk

Produk polistirena biasa digunakan secara luas sebagai isolator, bahan pelapis pada kawat atau kabel, bahan untuk embuatan peralatan rumah tangga, pembungkus makanan, dan mainan anak-anak.

I.5. Kapasitas perancangan

I.5.1. Ketersediaan Bahan Baku

Sebelum merancang pendirian sebuah pabrik, menentukan atau menghitung kapasitas dari pabrik merupakan hal yang sangat penting. Untuk menentukan kapasitas pabrik yang akan didirikan maka perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui seberapa besar kebutuhan pasar dari produk yang dihasilkan. Adapun produsen yang menghasilkan styrene monomer sebagai bahan baku pembuatan *polystyrene* di Indonesia diantaranya adalah:

Tabel I. 8. Produsen *Styrene* Monomer di Indonesia

No	Nama Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	PT. Graha Swakarsa Prima	45.460
2	Styrindo Mono Indonesia (SMI)	340.000
3	PT. Agumar Chemicalindo	120.000

Selain mono styrene, adapun produsen dari bahan baku lainnya (bahan pendukung; *ethyl benzene*, dan benzoil peroksida), yaitu:

Tabel I. 9. Produsen Bahan Baku Pendukung

No	Bahan Baku Pendukung	Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	<i>Ethyl Benzene</i>	PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk PT. Styrindo Mono Indonesia	≤ 420.000
2	Benzoil Peroksida	Ming Dih Industry Co.	48.000

I.5.2. Proyeksi Kebutuhan Polystyrene

Data impor *polystyrene* dapat dipakai untuk menghitung dari gambaran kebutuhan plastik pada tahun-tahun produksi yang akan mendatang. Adapun perhitungan ini dapat dilakukan menggunakan metode perhitungan regresi linear dari data produksi impor yang telah ada.

Tabel I. 10. Data Impor Tahun 2017-2021

Tahun	Kebutuhan (Ton)
2017	36467,288
2018	30529,533
2019	36274,604
2020	31947,716
2021	39306,349

(Badan Pusat Statistik, 2022)

Dari data impor pada Tabel I. 11 dapat diperkirakan kebutuhan dari *Polystyrene* di Indonesia pada tahun 2022 dengan menggunakan data regresi linear. Di bawah ini adalah proyeksi dari kenaikan angka kebutuhan *polystyrene* di Indonesia tahun 2017 hingga 2022. Berdasarkan data kapasitas pabrik yang telah di bangun, diperoleh persamaan regresi linier yaitu $Y = 709,63 X - 1397839$. pabrik *polystyrene* direncanakan akan dibangun pada tahun 2027 sehingga pada data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2017-2021 maka didapatkan hasil pada tahun 2027 kebutuhan *polystyrene* di Indonesia berjumlah 60.000 Ton.

Berdasarkan situs PT Citra Cendekia Indonesia (2015), terdapat beberapa industri polistirena di Indonesia, di antaranya:

Tabel I. 11. Data produksi Polystyrene di Indonesia

Produsen	Kapasitas (ton/tahun)
PT Styron Indonesia	70.000
PT Arbe Styrimdo	15.000
PT Royal Chemical Indonesia	30.000

Sedangkan untuk data produksi *polystyrene* di dunia dapat dilihat pada table di bawah ini:

Tabel I. 12. Data Produksi *Polystyrene* di Dunia

Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/tahun)
Baser Petrokimia	Yumurtalky	50.000
Total Petrochemical	Carling Prancis	200.000
Ineos Nova	Marl, German	190.000
BASF	Antwerp, Belgia	540.000
Dow Chemical	Tessengerlo, Belgia	265.000

Berdasarkan pertimbangan teknik, ekonomi, dan pabrik yang telah berdiri di Indonesia maupun pabrik yang mengimpor polistirena di dunia, maka dalam prarancangan pabrik *polystyrene* dari monomer stirena dipilih kapasitas 60.000 ton/tahun.