

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Epiklorohidrin (ECH) merupakan senyawa organik berbentuk cairan tidak berwarna dengan rumus kimia  $C_3H_5ClO$  yang memiliki gugus epoksi dan atom klorin sehingga bersifat sangat reaktif dalam berbagai sintesis kimia industri (McKetta, 2012). Secara umum, ECH diproduksi melalui proses konvensional berbahan baku propilena dengan tahapan klorinasi menjadi *allyl chloride*, dilanjutkan pembentukan diklorohidrin, kemudian dehidroklorinasi menggunakan basa untuk menghasilkan ECH (Ullmann, 2012). Teknologi berbasis propilena tersebut telah digunakan secara luas oleh berbagai perusahaan kimia dunia, seperti Dow Chemical melalui proses konvensional propilena dan Solvay melalui teknologi *allyl chloride route* pada fasilitas produksinya di Eropa dan Amerika Serikat (Kirk-Othmer, 2014). Namun, proses konvensional tersebut menghasilkan limbah garam klorida dalam jumlah besar serta memiliki konsumsi energi yang relatif tinggi sehingga menimbulkan perhatian terhadap aspek lingkungan dan keberlanjutan proses industri (Santacesaria et al., 2010). Oleh karena itu, pengembangan jalur produksi ECH berbasis gliserol mulai dikembangkan sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan bahan baku terbarukan (*renewable feedstock*) dan menghasilkan limbah yang lebih rendah dibandingkan proses konvensional berbahan baku propilena (Pagliaro & Rossi, 2008).

Epiklorohidrin merupakan bahan baku utama dalam produksi resin epoksi yang digunakan secara luas pada industri pelapis (*coating*), perekat (*adhesive*), komposit, elektronik, otomotif, dan konstruksi bangunan karena memiliki ketahanan kimia dan mekanik yang baik (May, 1988). Selain itu, ECH juga digunakan dalam pembuatan resin penukar ion, elastomer sintesis, bahan kimia pengolahan air (*water treatment*), serta berbagai produk farmasi dan surfaktan industri (Kirk-Othmer, 2014). Perkembangan industri manufaktur di Indonesia, khususnya sektor konstruksi, otomotif, dan elektronik, menyebabkan kebutuhan terhadap resin epoksi dan turunannya terus meningkat dari tahun ke tahun (Mubarak et al., 2021). Kondisi tersebut turut mendorong peningkatan kebutuhan ECH sebagai bahan baku antara (*intermediate chemical*) dalam rantai industri kimia nasional (Ullmann, 2012). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, yang ditunjukkan pada Tabel 1.1, volume impor ECH Indonesia mengalami peningkatan dari 540 ton

pada tahun 2017 menjadi 1.223 ton pada tahun 2025, yang menunjukkan adanya pertumbuhan kebutuhan pasar domestik terhadap produk tersebut.

Hingga saat ini, Indonesia belum memiliki pabrik yang secara khusus memproduksi epiklorohidrin dalam skala industri sehingga kebutuhan dalam negeri masih dipenuhi melalui impor dari berbagai negara produsen bahan kimia dunia (BPS, 2025). Negara asal impor ECH ke Indonesia antara lain Tiongkok, Korea Selatan, Jepang, Singapura, dan Thailand yang merupakan negara dengan kapasitas industri petrokimia yang besar di kawasan Asia (BPS, 2025). Ketergantungan terhadap impor menyebabkan industri pengguna ECH di Indonesia menghadapi risiko fluktuasi harga bahan baku, ketidakstabilan pasokan global, dan meningkatnya biaya produksi akibat perubahan kondisi perdagangan internasional (OECD, 2021). Di sisi lain, peningkatan kebutuhan ECH di berbagai sektor industri nasional menunjukkan bahwa pasar domestik ECH masih memiliki prospek yang cukup besar untuk dikembangkan di Indonesia (Mubarak et al., 2021). Dengan demikian, kondisi tersebut membuka peluang pendirian pabrik epiklorohidrin di Indonesia guna memenuhi kebutuhan industri dalam negeri serta mengurangi ketergantungan terhadap produk impor.

**Tabel 1.1** Data Impor Epiklorohidrin

| <b>Tahun</b> | <b>Kapasitas (ton)</b> |
|--------------|------------------------|
| 2017         | 540                    |
| 2018         | 672                    |
| 2019         | 880                    |
| 2020         | 977                    |
| 2021         | 997                    |
| 2022         | 1.042                  |
| 2023         | 1.569                  |
| 2024         | 1.246                  |
| 2025         | 1.223                  |

Sumber: BPS, 2025

Berikut adalah urgensi dan keuntungan dari pendirian pabrik epiklorohidrin di Indonesia:

1. Memenuhi kebutuhan epiklorohidrin nasional melalui produksi dalam negeri secara berkelanjutan.
2. Mengurangi ketergantungan impor serta menekan pengeluaran devisa negara.

3. Menghasilkan epiklorohidrin dengan proses yang lebih efisien dan ekonomis dibanding metode konvensional.
4. Membuka lapangan kerja baru dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.
5. Mendukung perkembangan industri hilir berbahan baku epiklorohidrin serta meningkatkan daya saing industri nasional.

## 1.2 Kapasitas Rancangan

Dalam perencanaan pendirian pabrik, penentuan kapasitas produksi merupakan salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan karena berkaitan dengan kelayakan teknis dan ekonomis pabrik. Pabrik epiklorohidrin (ECH) ini direncanakan memiliki kapasitas produksi sebesar 11.000 ton per tahun dan ditargetkan mulai beroperasi pada tahun 2031. Penetapan kapasitas tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain kebutuhan ECH dalam negeri, data impor dan ekspor, serta prospek perkembangan industri pengguna ECH di Indonesia. Hingga saat ini, Indonesia belum memiliki produsen epiklorohidrin dalam skala industri sehingga kebutuhan domestik masih dipenuhi melalui impor dari luar negeri. Data impor dan ekspor epiklorohidrin di Indonesia tahun 2017–2021 disajikan pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2** Data Impor dan Ekspor Epiklorohidrin

| Tahun | Jumlah (ton) |        |
|-------|--------------|--------|
|       | Impor        | Ekspor |
| 2017  | 540          | 0,022  |
| 2018  | 672          | 0,018  |
| 2019  | 880          | 0,014  |
| 2020  | 977          | 0,004  |
| 2021  | 997          | 0,04   |

Sumber: BPS, 2025

### 1.2.1 Perhitungan Kapasitas Produksi Pabrik

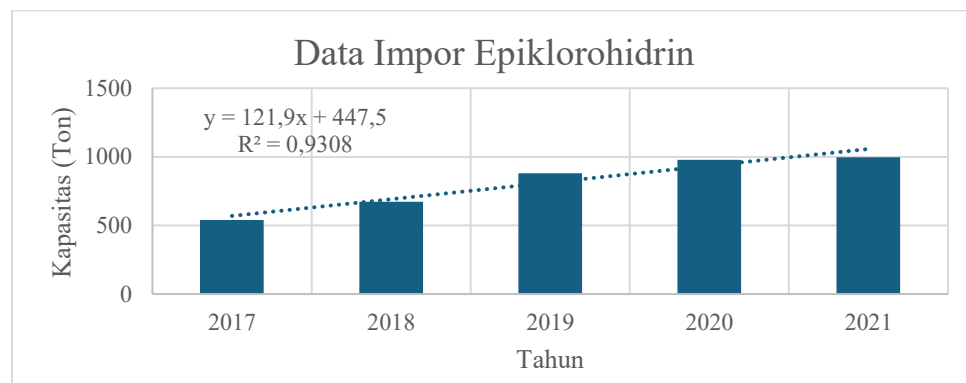
Pabrik epiklorohidrin (ECH) direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2031. Penentuan kapasitas produksi dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode regresi linier dan metode rata-rata laju pertumbuhan. Metode regresi linier digunakan apabila data historis impor dan ekspor ECH menunjukkan hubungan linier yang kuat terhadap waktu, yang ditandai dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) mendekati satu. Namun, apabila nilai  $R^2$  yang diperoleh kurang dari 0,9,

maka hubungan linier antara data dan waktu dinilai belum cukup kuat untuk digunakan sebagai dasar proyeksi kapasitas produksi di masa mendatang. Oleh karena itu, metode rata-rata laju pertumbuhan digunakan sebagai alternatif dalam memperkirakan kebutuhan ECH pada tahun operasi pabrik.

a. Metode Regresi Linier

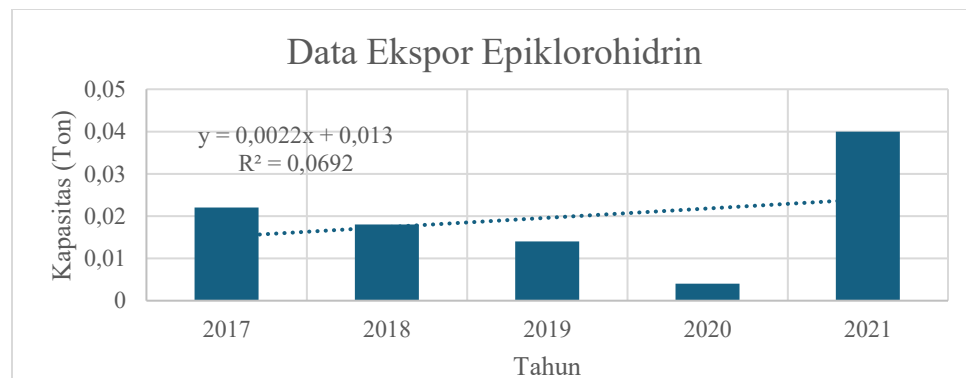
Grafik pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 menunjukkan hubungan antara data impor dan ekspor epiklorohidrin terhadap waktu selama periode 2017–2021. Grafik regresi linier tersebut digunakan untuk mengetahui kecenderungan (*trend*) perubahan data setiap tahun serta sebagai dasar dalam memperkirakan kebutuhan epiklorohidrin pada tahun operasi pabrik. Selain itu, grafik regresi juga digunakan untuk menentukan kesesuaian metode regresi linier dalam melakukan proyeksi kapasitas produksi.

1. Grafik Linier Impor Epiklorohidrin



**Gambar 1.1** Grafik Regresi Linier Impor Epiklorohidrin

2. Grafik Linier Ekspor Epiklorohidrin



**Gambar 1.2** Grafik Regresi Linier Ekspor Epiklorohidrin

Berdasarkan hasil regresi linier, data impor epiklorohidrin memiliki nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9308 yang menunjukkan hubungan linier yang cukup baik terhadap waktu. Sementara itu, data ekspor memiliki nilai  $R^2$  sebesar 0,0692 sehingga hubungan liniernya sangat lemah dan tidak dapat digunakan sebagai dasar proyeksi. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa metode regresi linier belum sepenuhnya sesuai untuk memperkirakan kebutuhan epiklorohidrin di masa mendatang. Oleh karena itu, diperlukan metode lain, yaitu metode rata-rata laju pertumbuhan, untuk memperoleh hasil proyeksi yang lebih representatif.

b. Metode Rata-Rata Pertumbuhan

Metode rata-rata laju pertumbuhan digunakan untuk memperkirakan kebutuhan epiklorohidrin pada tahun operasi pabrik berdasarkan persentase pertumbuhan data impor dan ekspor setiap tahun. Metode ini dipilih karena hasil regresi linier menunjukkan bahwa tidak seluruh data memiliki hubungan linier yang kuat terhadap waktu, sehingga diperlukan pendekatan lain yang lebih representatif. Perhitungan dilakukan dengan menentukan rata-rata persentase pertumbuhan tahunan dari data historis, kemudian digunakan untuk memproyeksikan kondisi impor dan ekspor pada tahun 2031. Hasil proyeksi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan peluang kapasitas dan kapasitas produksi pabrik epiklorohidrin yang akan dirancang.

1. Perhitungan Rata-Rata Pertumbuhan Ekspor dan Impor (Konsumsi)

**Tabel 1.3** Persentase Prediksi Ekspor dan Impor (Konsumsi)

| Tahun    | Jumlah       |                           | % Prediksi  |                     |
|----------|--------------|---------------------------|-------------|---------------------|
|          | Ekspor (Ton) | Impor (Ton) =<br>Konsumsi | Ekspor      | Impor =<br>Konsumsi |
| 2017     | 0,022        | 540                       | -           | -                   |
| 2018     | 0,018        | 672                       | -18,18      | 24,44               |
| 2019     | 0,014        | 880                       | -22,22      | 30,95               |
| 2020     | 0,004        | 977                       | -71,43      | 11,02               |
| 2021     | 0,04         | 997                       | 900,00      | 2,05                |
| Total %P |              |                           | 788,1673882 | 68,47               |
| i        |              |                           | 197,041847  | 17,12               |

2. Perkiraan Impor (Konsumsi) pada Tahun 2031

Rumus yang digunakan:

$$M = P \times (1 + i)^n$$

$$M_{2031} = 997 \times (1 + 17,12\%)^{10}$$

$$M_{2031} = 4.840,41 \text{ ton/tahun (m}_5\text{)}$$

3. Perkiraan Ekspor pada Tahun 2031

Rumus yang digunakan:

$$M = P \times (1 + i)^n$$

$$M_{2031} = 0,04 \times (1 + 197,041847\%)^{10}$$

$$M_{2031} = 2.139,13 \text{ ton/tahun (m}_4\text{)}$$

4. Peluang Kapasitas berdasarkan Perkiraan Ekspor dan Impor

Rumus yang digunakan:

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5$$

dengan:

$m_1$  = Nilai Impor

$m_2$  = Nilai Produksi Pabrik Lama

$m_3$  = Nilai Produksi Pabrik Baru

$m_4$  = Nilai Ekspor

$m_5$  = Nilai Konsumsi

Perhitungan Peluang Kapasitas:

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$

$$m_3 = (2.139,13 + 4.840,41) - (0 + 0)$$

$$m_3 = 6.979,53 \text{ ton}$$

5. Perhitungan Kapasitas Pabrik

Rumus yang digunakan:

$$\text{Kapasitas Produksi} = 1,5 \times \text{Peluang Kapasitas}$$

$$\text{Kapasitas Produksi} = 1,5 \times 6.979,53$$

$$\text{Kapasitas Produksi} = 10.469,30 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \approx \mathbf{11.000 \text{ ton/tahun}}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode rata-rata laju pertumbuhan, diperoleh proyeksi kebutuhan impor epiklorohidrin pada tahun 2031 sebesar 4.840,41 ton per tahun dan proyeksi ekspor sebesar 2.139,13 ton per tahun. Selanjutnya, perhitungan peluang kapasitas dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi bahwa belum terdapat pabrik epiklorohidrin di Indonesia, sehingga kapasitas produksi ditentukan sebesar 1,5 kali peluang kapasitas yang diperoleh. Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan kapasitas produksi pabrik epiklorohidrin sebesar 10.489,30 ton per tahun. Untuk mempermudah operasional dan perancangan proses, kapasitas produksi kemudian dibulatkan menjadi 11.000 ton per tahun.

### 1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan salah satu faktor penting dalam perancangan pabrik epiklorohidrin karena berpengaruh terhadap kontinuitas proses produksi. Indonesia memiliki potensi ketersediaan gliserol yang cukup besar seiring berkembangnya industri biodiesel dan oleokimia nasional. Beberapa perusahaan di Indonesia diketahui memproduksi *refined glycerine* dengan kapasitas yang besar, seperti Wilmar Nabati Indonesia di Gresik sebesar 72.000 ton per tahun, Wilmar Bioenergi Indonesia di Dumai sebesar 132.000 ton per tahun, serta Sinarmas Bio Energy di Bekasi sebesar 82.500 ton per tahun sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.4. Ketersediaan bahan baku dari beberapa produsen tersebut memberikan alternatif sumber pasokan gliserol bagi pabrik yang akan didirikan. Selain itu, gliserol yang dihasilkan telah berupa *refined glycerine* sehingga dapat langsung digunakan sebagai bahan baku proses produksi epiklorohidrin.

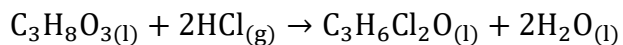
**Tabel 1.4** Ketersediaan Bahan Baku *Refined Glycerine*

| Perusahaan                 | Lokasi             | Kapasitas (ton/tahun) |
|----------------------------|--------------------|-----------------------|
| Wilmar Nabati Indonesia    | Gresik, Jawa Timur | 72.000                |
| Wilmar Bioenergi Indonesia | Dumai, Riau        | 132.000               |
| Sinarmas Bio Energy        | Bekasi, Jawa Barat | 82.500                |

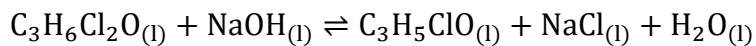
Pada proses produksi epiklorohidrin dari gliserol, konversi reaksi yang digunakan sebesar 80%. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan kebutuhan seluruh bahan baku berdasarkan stoikiometri reaksi dan perbandingan mol masing-masing komponen. Reaksi pembentukan epiklorohidrin berlangsung melalui tahap pembentukan diklorohidrin dari gliserol dan HCl, kemudian dilanjutkan dengan reaksi dehidroklorinasi menggunakan NaOH untuk menghasilkan epiklorohidrin. Berdasarkan persamaan reaksi, perbandingan mol gliserol : HCl : NaOH : ECH

adalah 1 : 2 : 1 : 1. Perhitungan kebutuhan bahan baku selanjutnya dilakukan berdasarkan kapasitas produksi pabrik sebesar 11.000 ton per tahun untuk menentukan jumlah mol dan kebutuhan masing-masing bahan dalam proses produksi.

Reaksi pembentukan diklorohidrin:



Reaksi pembentukan epiklorohidrin:



Berikut perhitungan kebutuhan bahan baku secara keseluruhan:

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas} &= 11.000 \text{ ton/tahun} \\ &= 11.000.000 \text{ kg/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Operasi} &= 330 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \\ &= 7.920 \text{ jam/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol ECH} &= \frac{11.000.000 \text{ kg/tahun}}{92,52 \text{ kg/mol}} \\ &= 118.892 \text{ kmol/tahun} \\ &= 15,012 \text{ kmol/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol Gliserol} &= \frac{\text{Mol ECH}}{\text{Yield}} \\ &= \frac{118.892}{0,7616} \\ &= 156.105 \text{ kmol/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol HCl} &= 2 \times \text{Mol ECH} \\ &= 2 \times 118.892 \\ &= 237.786 \text{ kmol/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol NaOH} &= 1 \times \text{Mol ECH} \\ &= 118.893 \text{ kmol/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Gliserol} &= \text{Mol Gliserol} \times \text{BM Gliserol} \\ &= 118.893 \text{ kmol/tahun} \times 92,09 \text{ kg/mol} \\ &= 14.375.758 \text{ kg/tahun} \\ &= 14.375,76 \text{ ton/tahun} \\ &= \mathbf{1815,121 \text{ kg/jam}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan HCl} &= \text{Mol HCl} \times \text{BM HCl} \\ &= 237.786 \text{ kmol/tahun} \times 36,46 \text{ kg/mol} \\ &= 8.669.693 \text{ kg/tahun} \\ &= 8.669,69 \text{ ton/tahun (teoritis)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Excess HCl} &= 8.669,69 \times 1,451 \\ &= 12.580,67 \text{ ton/tahun} \\ &= \mathbf{1588,468 \text{ kg/jam}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan NaOH} &= \text{Mol NaOH} \times \text{BM NaOH} \\ &= 118.893 \text{ kmol/tahun} \times 40 \text{ kg/mol} \\ &= 4.755.728,49 \text{ kg/tahun} \\ &= 4.755,73 \text{ ton/tahun (teoritis)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Excess NaOH} &= 4.755,73 \times 1,389 \\ &= 6.603,70 \text{ ton/tahun} \\ &= \mathbf{833,8 \text{ kg/jam}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total katalis bersirkulasi} &= 5 \text{ mol\%} \times \text{Mol Gliserol (fresh + recycle)} \\ &= 1816,232 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol gliserol total} &= 1816,232 \div 92,09 \\ &= 19,722 \text{ kmol/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol katalis total} &= 0,05 \times 19,722 \times 116,16 \\ &= 114,55 \text{ kg/jam (teoritis, selisih 5\% dengan aktual)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Asam Heksanoat} &= \text{Total} - \text{Recycle} \\ (\text{Fresh Make-up}) &= 108,96 - 69,151 \\ &= \mathbf{39,809 \text{ kg/jam}} \\ &= 315.287,28 \text{ kg/tahun} \\ &= 315,29 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Larutan NaOH 20\% berat} & \\ \text{NaOH 100\%} &= 833,8 \text{ kg/jam} \\ \text{Total Larutan} &= 833,8 \\ &\quad \underline{\hspace{1cm} 0,20 \hspace{1cm}} \\ &= 4169 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air Pelarut} &= \text{Total Larutan} - \text{NaOH} \\ &= 4169 - 833,8 \\ &= \mathbf{3335,2 \text{ kg/jam}} \\ &= 26.414.784 \text{ kg/tahun} \\ &= 26.414,78 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dan kapasitas produksi sebesar 11.000 ton per tahun, diperoleh kebutuhan bahan baku utama dan bahan pendukung dalam proses produksi epiklorohidrin. Kebutuhan *refined glycerine* sebagai bahan baku utama sebesar 13.727 ton per tahun, sedangkan kebutuhan HCl sebagai pereaksi klorinasi sebesar 8.670 ton per tahun. Selain itu, NaOH yang digunakan pada tahap dehidroklorinasi dibutuhkan sebesar 4.756 ton per tahun dengan tambahan air sebagai pelarut NaOH sebesar 14.744 ton per tahun. Pada proses produksi juga digunakan asam heksanoat sebagai katalis dengan kebutuhan sebesar 1.105 ton per tahun. Hasil perhitungan kebutuhan bahan baku tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan bahan baku di Indonesia masih mampu memenuhi kebutuhan operasi pabrik epiklorohidrin yang dirancang.

### 1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik memegang peranan penting dalam menentukan keberhasilan suatu industri. Pemilihan lokasi pabrik merupakan langkah yang krusial dalam perancangan pabrik karena akan berdampak langsung pada nilai ekonomis dan teknis pabrik tersebut. Jenis proses produksi merupakan salah satu aspek penting dalam menentukan lokasi pabrik. Jenis proses produksi dibagi menjadi dua kategori, *weight gain* (produk akhir lebih berat dari bahan baku) dan *weight loss* (produk akhir lebih ringan dari bahan baku).

Dengan mempertimbangkan berbagai aspek, terdapat tiga alternatif wilayah lokasi pendirian pabrik yaitu di Kawasan Industri Cilegon, Jawa Barat; Kawasan Industri JIPE Gresik, Jawa Timur; dan Kawasan Industri Kendal, Jawa Tengah. Untuk menentukan lokasi yang paling layak, ketiga lokasi tersebut dinilai menggunakan matriks evaluasi yang berfungsi menilai masing-masing alternatif berdasarkan sejumlah kriteria utama yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik.

**Tabel 1.5** Matriks Pemilihan Lokasi Pabrik Epiklorohidrin

| Kriteria                                            | Bobot | Kawasan Industri<br>Cilegon, Banten |                | Kawasan Industri<br>JIPE Gresik, Jawa<br>Timur |                | Kawasan Industri<br>Kendal, Jawa<br>Tengah |                |
|-----------------------------------------------------|-------|-------------------------------------|----------------|------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------|----------------|
|                                                     |       | Skor                                | Nilai<br>(SxB) | Skor                                           | Nilai<br>(SxB) | Skor                                       | Nilai<br>(SxB) |
| Kedekatan bahan baku                                | 0,25  | 4                                   | 1,00           | 5                                              | 1,25           | 3                                          | 0,75           |
| Kedekatan pasar/konsumen                            | 0,20  | 5                                   | 1,00           | 3                                              | 0,60           | 4                                          | 0,80           |
| Akses pelabuhan & logistik impor                    | 0,15  | 5                                   | 0,75           | 5                                              | 0,75           | 4                                          | 0,60           |
| Ketersediaan utilitas (air, listrik, <i>steam</i> ) | 0,10  | 5                                   | 0,50           | 5                                              | 0,50           | 4                                          | 0,40           |

| Kriteria                                | Bobot       | Kawasan Industri<br>Cilegon, Banten |                | Kawasan Industri<br>JIIPE Gresik, Jawa<br>Timur |                | Kawasan Industri<br>Kendal, Jawa<br>Tengah |                |
|-----------------------------------------|-------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------|----------------|
|                                         |             | Skor                                | Nilai<br>(SxB) | Skor                                            | Nilai<br>(SxB) | Skor                                       | Nilai<br>(SxB) |
| Infrastruktur                           |             |                                     |                |                                                 |                |                                            |                |
| industri & transportasi                 | 0,10        | 5                                   | 0,50           | 5                                               | 0,50           | 4                                          | 0,40           |
| Tenaga kerja & SDM                      | 0,05        | 5                                   | 0,25           | 4                                               | 0,20           | 4                                          | 0,20           |
| Kemudahan ekspansi lahan                | 0,05        | 3                                   | 0,15           | 5                                               | 0,25           | 4                                          | 0,20           |
| Kebijakan pemerintah & kawasan industri | 0,05        | 5                                   | 0,25           | 5                                               | 0,25           | 4                                          | 0,20           |
| Kondisi lingkungan & keamanan           | 0,05        | 4                                   | 0,20           | 4                                               | 0,20           | 4                                          | 0,20           |
| <b>Jumlah</b>                           | <b>1,00</b> |                                     | <b>4,60</b>    |                                                 | <b>4,50</b>    |                                            | <b>3,75</b>    |

### Keterangan Bobot

Bobot menunjukkan tingkat kepentingan relatif dari setiap kriteria dalam penentuan lokasi pabrik. Penetapan bobot didasarkan pada karakteristik proses produksi epiklorohidrin, kebutuhan operasional pabrik kimia, serta pertimbangan ekonomi dan teknis.

#### 1. Kedekatan bahan baku (0,25)

Memiliki bobot terbesar karena bahan baku utama berupa gliserol, HCl, dan NaOH digunakan dalam jumlah besar dan kontinu. Kedekatan dengan pemasok dapat menurunkan biaya transportasi, risiko keterlambatan pasokan, serta biaya penyimpanan bahan kimia.

2. Kedekatan pasar/konsumen (0,20)

Bobot tinggi diberikan karena epiklorohidrin merupakan bahan *intermediate* industri resin, coating, dan synthetic rubber yang membutuhkan distribusi cepat dan stabil. Lokasi dekat konsumen akan menurunkan biaya distribusi produk.

3. Akses pelabuhan dan logistik impor (0,15)

Asam heksanoat berasal dari impor sehingga akses menuju pelabuhan internasional menjadi penting untuk efisiensi biaya logistik, kemudahan bongkar muat, dan kontinuitas *supply chain*.

4. Ketersediaan utilitas (0,10)

Industri epiklorohidrin membutuhkan utilitas besar seperti air proses, listrik, *steam*, *cooling water*, dan pengolahan limbah sehingga lokasi dengan utilitas lengkap lebih diutamakan.

5. Infrastruktur industri dan transportasi (0,10)

Infrastruktur jalan, akses tol, jalur distribusi, serta fasilitas kawasan industri sangat mempengaruhi kelancaran operasional dan distribusi bahan baku maupun produk.

6. Tenaga kerja dan SDM (0,05)

Lokasi dengan ketersediaan tenaga kerja industri kimia dan SDM teknis yang baik akan mempermudah operasional pabrik.

7. Kemudahan ekspansi lahan (0,05)

Digunakan untuk mempertimbangkan peluang pengembangan kapasitas pabrik di masa depan.

8. Kebijakan pemerintah dan kawasan industri (0,05)

Kawasan industri dengan regulasi yang mendukung industri kimia akan memberikan kemudahan perizinan, utilitas, dan investasi.

9. Kondisi lingkungan dan keamanan (0,05)

Industri epiklorohidrin termasuk industri kimia berisiko sehingga keamanan kawasan dan kemampuan pengelolaan lingkungan menjadi faktor penting.

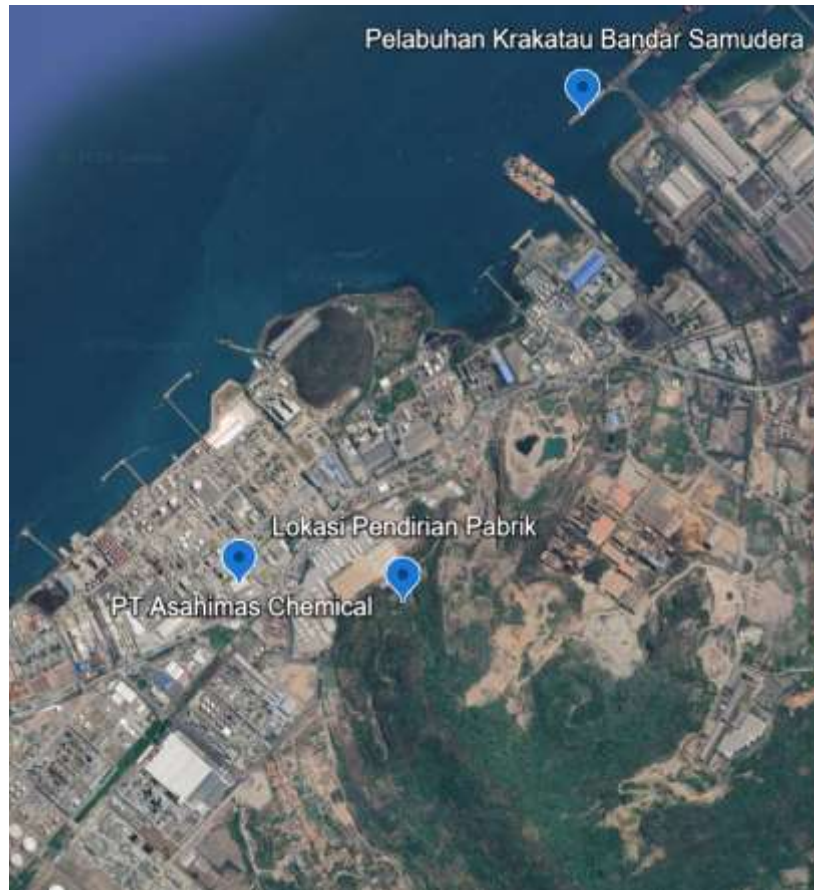
### Keterangan Skor

Skor diberikan untuk menunjukkan tingkat kesesuaian masing-masing lokasi terhadap setiap kriteria dengan skala sebagai berikut.

- Skor 5: Sangat baik/mendukung
- Skor 4: Baik/mendukung

- Skor 3: Cukup
- Skor 1: Sangat kurang

Berdasarkan hasil analisis matriks tersebut, pabrik epiklorohidrin dengan kapasitas 11.000 ton/tahun akan didirikan di kawasan industri Cilegon, Banten, Indonesia.



**Gambar 1.3** Peta Lokasi Pabrik

### 1.3.1 Tipe Proses

Proses produksi epiklorohidrin dari gliserol termasuk ke dalam proses *weight loss*, yaitu proses dimana massa produk akhir lebih kecil dibandingkan total massa bahan baku yang masuk ke sistem. Hal ini terjadi karena pada sintesis epiklorohidrin terdapat pembentukan produk samping dan limbah proses, seperti air, garam NaCl hasil netralisasi, senyawa organik samping, serta kehilangan massa akibat pemurnian dan distilasi. Reaksi utama melibatkan gliserol yang direaksikan dengan HCl membentuk diklorohidrin, kemudian direaksikan dengan NaOH untuk menghasilkan epiklorohidrin. Pada tahap dehidroklorinasi tersebut terbentuk NaCl dan air sebagai produk samping dalam jumlah cukup besar. Implikasinya terhadap pemilihan lokasi adalah pabrik

cenderung lebih menguntungkan apabila dibangun dekat dengan sumber bahan baku utama untuk mengurangi biaya transportasi bahan baku yang jumlahnya lebih besar dibanding produk akhirnya.

### 1.3.2 Ketersediaan Bahan Baku

Kawasan industri Cilegon merupakan lokasi yang sangat strategis untuk pembangunan pabrik epiklorohidrin karena memiliki akses yang baik terhadap bahan baku utama. Bahan baku HCl dan NaOH dapat diperoleh secara langsung dari PT Asahimas Chemical yang berlokasi di Cilegon melalui jalur darat sehingga biaya transportasi dan risiko keterlambatan pasokan dapat ditekan. Selain itu, bahan baku gliserol murni dapat dipasok dari PT Wilmar Indonesia di Gresik dan Dumai melalui jalur laut maupun darat. Untuk asam heksanoat yang diimpor dari Xiamen Ditai Chemicals Co., Ltd, kawasan Cilegon memiliki akses dekat dengan pelabuhan internasional sehingga mempermudah kegiatan impor bahan baku kimia.

### 1.3.3 Sarana Transportasi

Kawasan industri Cilegon terhubung dengan Jalan Tol Jakarta–Merak yang mempermudah distribusi bahan baku maupun produk ke wilayah industri di Pulau Jawa. Selain itu, keberadaan Pelabuhan Merak dan pelabuhan internasional Krakatau International Port (KIP) memungkinkan transportasi laut untuk impor bahan baku dan distribusi produk dalam jumlah besar dengan biaya yang lebih ekonomis. Jalur transportasi darat dan laut yang lengkap ini memberikan efisiensi logistik yang tinggi bagi operasional pabrik epiklorohidrin.

### 1.3.4 Letak Pabrik dengan Daerah Pemasaran

Lokasi pabrik epiklorohidrin di kawasan industri Cilegon sangat strategis karena berada dekat dengan konsumen utama yang bergerak di bidang resin, *coating*, petrokimia, *synthetic rubber*, dan bahan kimia industri. Epiklorohidrin merupakan bahan penting dalam produksi epoxy resin, phenoxy resin, elastomer, surfaktan, dan *specialty coating*. Kedekatan dengan konsumen utama akan menurunkan biaya distribusi, mempercepat pengiriman produk, serta meningkatkan efisiensi rantai pasok industri kimia.

**Tabel 1.6** Potensial Konsumen Epiklorohidrin Sekitar Cilegon, Banten

| Nama Perusahaan                      | Bidang Industri        | Lokasi          | Kapasitas Produksi |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
| Chandra Asri Group                   | Petrokimia Terpadu     | Cilegon, Banten | 860.000 ton/tahun  |
| PT Lotte Chemical<br>Titan Nusantara | Petrokimia dan Polimer | Cilegon, Banten | 450.000 ton/tahun  |

| <b>Nama Perusahaan</b>           | <b>Bidang Industri</b>    | <b>Lokasi</b>           | <b>Kapasitas Produksi</b> |
|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| PT Dover Chemical                | <i>Specialty Chemical</i> | Cilegon, Banten         | 50.000 ton/tahun          |
| PT Pardic Jaya<br>Chemicals      | Industri Resin dan Cat    | Tangerang,<br>Banten    | 24.000 ton/tahun          |
| PT Synthetic Rubber<br>Indonesia | <i>Synthetic Rubber</i>   | Cilegon, Banten         | 120.000 ton/tahun         |
| PT Semi Rubber<br>Indonesia      | Industri Karet Sintesis   | Karawang, Jawa<br>Barat | 14,3 juta pcs/tahun       |

### 1.3.5 Penyediaan Utilitas

Air dan listrik merupakan peran yang sangat penting dalam operasional pabrik. Dengan pendirian pabrik di kawasan industri Cilegon, pemenuhan kebutuhan air dapat diperoleh dari PT Krakatau Tirta Indonesia yang menyediakan air bersih industri, air demineralisasi, dan pengolahan limbah industri di kawasan Cilegon. Untuk kebutuhan listrik, dapat disuplai dari jaringan PLN serta pembangkit di kawasan industri Cilegon dan Suralaya yang merupakan salah satu pusat pembangkit listrik terbesar di Indonesia.

### 1.3.6 Ketersediaan Tenaga Kerja

Kondisi kawasan industri Cilegon sangat menguntungkan untuk pendirian pabrik epiklorohidrin karena memiliki jarak yang dekat dengan pusat pendidikan dan pelatihan industri di Serang, Tangerang, dan Jakarta. Wilayah Jawa Barat dan Banten memiliki jumlah penduduk usia produktif yang tinggi sekitar 68% (wilayah Jawa Barat) dan 73,28% (wilayah Banten) sehingga mempermudah perekrutan pekerja (BPS, 2026). Selain itu lokasinya berdekatan dengan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA) yang dapat mendukung *supply* tenaga kerja industri kimia dan petrokimia di kawasan tersebut.

### 1.3.7 Kebijakan Pemerintah

Pemerintah mendukung pengembangan industri kimia dan petrokimia melalui berbagai kebijakan yang mendorong pembangunan kawasan industri dan peningkatan daya saing industri nasional. Peraturan Pemerintah Nomor 142 Tahun 2015 tentang Kawasan Industri menjadi landasan dalam penyediaan kawasan industri yang dilengkapi dengan infrastruktur, utilitas, serta kemudahan berusaha sehingga mendukung pendirian industri kimia berskala besar. Selain itu, Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian menetapkan bahwa pembangunan industri nasional diarahkan untuk meningkatkan nilai tambah sumber daya, memperkuat struktur

industri, dan mengembangkan industri prioritas, termasuk industri kimia dasar dan petrokimia. Sejalan dengan kebijakan tersebut, pendirian pabrik epiklorohidrin di Kawasan Industri Cilegon diharapkan dapat mendukung penguatan rantai pasok industri petrokimia nasional, meningkatkan nilai tambah bahan baku gliserol, serta mengurangi ketergantungan terhadap produk impor.

### 1.3.8 Kondisi Tanah dan Daerah

Kawasan industri utama Cilegon telah lama digunakan untuk industri berat seperti baja, petrokimia, pembangkit listrik, dan industri kimia sehingga kondisi tanah sudah banyak dikembangkan untuk menopang fasilitas industri skala besar. Kawasan industri juga telah memiliki sistem *darinase* industri, akses jalan beart, jalur perpipaan utilitas, serta *buffer zone* industri. Topografi wilayahnya juga relatif landai di kawasan Cilegon sehingga mempermudah kontruksi pebrik, pembangunan *tank farm*, jaringan perpipaan, dan utilitas. Lokasinya yang berada di pesisir Selat Sunda juga mendukung akses pelabuhan dan transportasi laut.

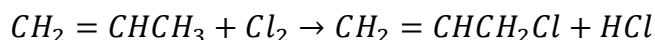
## 1.4 Tinjauan Proses

Dalam menentukan metode produksi epiklorohidrin, perlu dilakukan kajian mendalam terhadap setiap alternatif proses yang tersedia. Epiklorohidrin dapat diproduksi melalui beberapa metode yang berbeda.

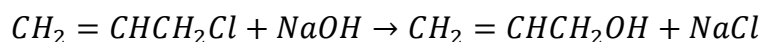
### 1.4.1 Macam-Macam Proses Pembuatan Epiklorohidrin

#### 1. Oksidasi Allyl Alkohol dari Propena

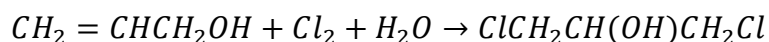
ECH diproduksi secara komersial pertama kali pada pertengahan tahun 1930 oleh Shell. Pada tahap awal, propena diklorinasi pada temperatur tinggi menghasilkan *allyl chloride* dengan reaksi sebagai berikut.



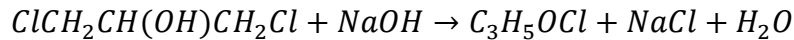
*Allyl chloride* kemudian dihidrolisis menggunakan larutan alkali sehingga menghasilkan allyl alkohol.



Selanjutnya allyl alkohol dioksidasi dan direaksikan dengan klorin membentuk diklorohidrin sebagai intermediate. Reaksi pembentukan dichlorohydrin dapat dituliskan sebagai berikut.



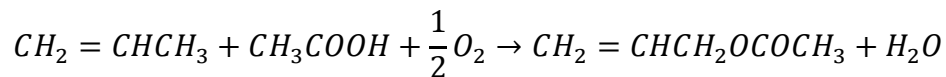
Tahap akhir adalah proses dehidroklorinasi menggunakan NaOH untuk menghasilkan epiklorohidrin.



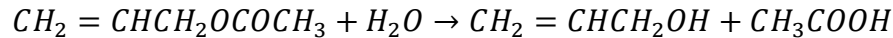
Proses ini merupakan teknologi awal yang banyak digunakan secara industri karena bahan baku propena tersedia melimpah dari industri petrokimia. Namun, proses ini memiliki kelemahan berupa konsumsi klorin yang tinggi, terbentuknya limbah garam dalam jumlah besar, serta menghasilkan produk samping organoklorin yang berpotensi mencemari lingkungan. Selain itu, jalur proses relatif panjang dan membutuhkan tahapan pemurnian yang kompleks. Meskipun demikian, metode berbasis propena masih digunakan pada beberapa industri besar karena integrasinya dengan kompleks petrokimia.

2. Oksidasi Propena dengan Asam Asetat menjadi Allyl Asetat yang dapat digunakan sebagai bahan baku Allyl Alkohol

Alternatif pembentukan allyl alkohol dapat dilakukan melalui oksidasi propena menggunakan asam asetat dan oksigen membentuk allyl asetat. Reaksi ini biasanya menggunakan katalis palladium atau tembaga pada fase gas. Reaksi utama yang terjadi yaitu.



Produk allyl asetat kemudian dihidrolisis untuk menghasilkan allyl alkohol.



Asam asetat yang terbentuk dapat direcycle kembali ke reaktor sehingga meningkatkan efisiensi proses. Allyl alkohol yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai bahan baku pembentukan dichlorohydrin dan epiklorohidrin melalui proses klorinasi dan dehidroklorinasi.

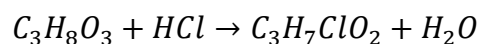
Metode ini dikembangkan untuk meningkatkan selektivitas pembentukan allyl alkohol dibanding jalur langsung dari *allyl chloride*. Penggunaan asam asetat juga membantu menekan pembentukan produk samping klorinasi. Namun demikian, proses ini tetap bergantung pada bahan baku propena dari industri petrokimia sehingga masih berbasis sumber daya fosil. Selain itu, penggunaan katalis logam mulia menyebabkan biaya investasi dan operasional menjadi lebih tinggi.

Pada beberapa teknologi modern, proses allyl asetat dianggap lebih efisien karena memungkinkan integrasi recycle asam asetat dan memberikan yield allyl alkohol yang lebih baik dibanding metode hidrolisis allyl chloride konvensional.

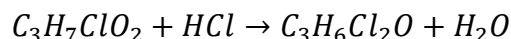
### 3. Pembentukan Allyl Alkohol melalui Diklorinasi Gliserol

Perkembangan industri biodiesel menghasilkan gliserol sebagai produk samping dalam jumlah besar sehingga dikembangkan proses green epichlorohydrin berbasis gliserol. Proses ini dianggap lebih ramah lingkungan dibanding jalur propena karena memanfaatkan bahan baku terbarukan dan memiliki atom *economy* yang lebih baik.

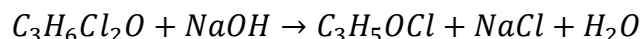
Tahap pertama adalah reaksi gliserol dengan HCl membentuk monoklorohidrin (MCH) dan diklorohidrin (DCH). Reaksi berlangsung secara bertahap dengan katalis asam karboksilat, seperti asam asetat atau asam heksanoat. Reaksi pembentukan monoklorohidrin sebagai berikut.



Pembentukan diklorohidrin sebagai berikut.



Produk dichlorohydrin yang terbentuk terdiri dari  $\alpha,\gamma$ -diklorohidrin dan  $\alpha,\beta$ -diklorohidrin. Selanjutnya dilakukan proses dehidroklorinasi menggunakan NaOH untuk menghasilkan epiklorohidrin.



#### 1.4.2 Pemilihan Proses Pembuatan Epiklorohidrin

Pemilihan proses produksi ECH merupakan tahap penting dalam perancangan pabrik karena akan mempengaruhi kebutuhan bahan baku, konsumsi energi, kompleksitas proses, biaya utilitas, dampak lingkungan, hingga keekonomian pabrik secara keseluruhan. Perlu dilakukan perbandingan dari masing-masing proses untuk menentukan proses yang paling sesuai digunakan pada perancangan pabrik.

**Tabel 1.7** Perbandingan Proses Pembuatan Epiklorohidrin

| Kriteria                  | Oksidasi Allyl Alkohol dari Propena        | Oksidasi Propena dengan Asam Asetat menjadi Allyl Asetat               | Pembentukan Allyl Alkohol dengan Diklorinasi Gliserol       |
|---------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Bahan Baku Utama          | Propena, Cl <sub>2</sub> , air, NaOH       | Propena, CH <sub>3</sub> COOH, O <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , NaOH | Gliserol, HCl, NaOH                                         |
| Suhu Operasi              | 35–60°C (klorinasi), 90–180°C (hidrolisis) | 150–180°C                                                              | 100–120°C (klorinasi gliserol), 80–100°C (dehidroklorinasi) |
| Tekanan Operasi           | 1–5 atm                                    | 5–10 atm                                                               | 5–8 atm (klorinasi), vakum atau ±1 atm (dehidroklorinasi)   |
| Katalis                   | Tidak dominan katalis spesifik             | Katalis Pd/Cu atau logam mulia                                         | Asam karboksilat                                            |
| Produk Samping            | HCl, NaCl, <i>chlorinated waste</i>        | Air, NaCl, sedikit <i>chlorinated waste</i>                            | NaCl, air                                                   |
| Kemurnian Produk          | 95–98%                                     | 97–99%                                                                 | ≥ 99,5%                                                     |
| Kompleksitas Proses       | Sangat tinggi                              | Tinggi                                                                 | Sedang                                                      |
| Kebutuhan Energi          | Tinggi                                     | Tinggi                                                                 | Sedang                                                      |
| Nilai Jual Produk Samping | Rendah                                     | Sedang                                                                 | Rendah                                                      |
| Keuntungan                | Teknologi sangat matang                    | Selektivitas allyl alkohol lebih baik                                  | <i>Renewable</i> dan lebih ramah lingkungan                 |
| Kerugian                  | Limbah klorin ringgi                       | Katalis mahal dan proses panjang                                       | Tetap menghasilkan garam NaCl                               |
| Laju Reaksi               | Cepat namun banyak <i>side reaction</i>    | Selektivitas lebih baik                                                | Relatif tinggi pada <i>reactive distillation</i>            |
| Kebutuhan Utilitas        | Sangat tinggi                              | Tinggi                                                                 | Sedang                                                      |
| Intensitas Karbon         | Tinggi                                     | Sedang                                                                 | Rendah                                                      |
| Kematangan Teknologi      | Sangat matang                              | Matang                                                                 | Komersial modern                                            |

**Sumber:** Spath, P. L., & Dayton, D. C. (2003); Ciriminna, R., et al. (2016); Santacesaria, E., Tesser, R., Di Serio, M., Casale, L., & Verde, D. (2010).

Berdasarkan perbandingan ketiga proses, produksi epiklorohidrin berbasis gliserol dipilih sebagai proses yang paling sesuai untuk pembangunan pabrik epiklorohidrin di Indonesia. Pemilihan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan utama, yaitu ketersediaan bahan baku gliserol yang melimpah dari industri biodiesel nasional, kondisi operasi yang relatif lebih ringan, kebutuhan energi yang lebih rendah, serta dampak lingkungan yang lebih kecil dibanding proses berbasis propena. Selain itu, proses ini telah berkembang menjadi teknologi komersial modern sehingga tingkat kematangan teknologinya sudah cukup baik untuk diaplikasikan secara industri.

Meskipun proses gliserol masih menghasilkan produk samping berupa NaCl dalam jumlah besar, proses ini tetap lebih unggul dari sisi keberlanjutan karena menggunakan bahan baku *renewable* dan memiliki intensitas karbon yang lebih rendah. Proses gliserol dianggap paling sesuai untuk mendukung pengembangan industri kimia hijau dan hilirisasi biodiesel di Indonesia.