

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor industri kimia di Indonesia mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari tahun ke tahun seiring dengan pertumbuhan berbagai sektor manufaktur, seperti industri *pulp* dan kertas, tekstil, makanan dan minuman, farmasi, elektronik, pertambangan, serta pengolahan air. Pertumbuhan tersebut menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan bahan kimia dasar yang berfungsi sebagai bahan baku maupun bahan penunjang dalam proses produksi. Salah satu bahan kimia yang memiliki peranan penting dalam berbagai sektor industri tersebut adalah hidrogen peroksida (H_2O_2).

Hidrogen peroksida merupakan senyawa kimia yang tidak berwarna, memiliki sifat oksidator yang kuat, serta mudah terurai menjadi air dan oksigen tanpa meninggalkan residu berbahaya. Sifat tersebut menjadikan hidrogen peroksida sebagai bahan kimia yang ramah lingkungan dibandingkan dengan beberapa oksidator lainnya. Dalam industri pulp dan kertas, hidrogen peroksida digunakan sebagai bahan pemutih (*bleaching agent*) untuk meningkatkan kualitas produk tanpa menghasilkan senyawa organoklorin yang berbahaya. Pada industri tekstil, hidrogen peroksida dimanfaatkan sebagai agen pemutih serat sebelum proses pewarnaan sehingga menghasilkan warna kain yang lebih cerah dan merata. Selain itu, hidrogen peroksida juga digunakan pada industri makanan sebagai bahan sterilisasi kemasan aseptik, pada industri farmasi sebagai disinfektan, pada pengolahan air limbah sebagai oksidator untuk menguraikan senyawa organik, serta pada industri elektronik sebagai bahan pembersih permukaan semikonduktor (McKetta, 2019).

Meningkatnya perkembangan berbagai sektor industri tersebut secara langsung berdampak pada meningkatnya kebutuhan hidrogen peroksida di Indonesia. Namun demikian, kapasitas produksi hidrogen peroksida di dalam negeri masih

belum sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan nasional sehingga sebagian kebutuhan masih dipenuhi melalui impor. Berdasarkan data *World Integrated Trade Solution* (WITS), Indonesia masih mengimpor hidrogen peroksida dengan kode HS 284700. Pada tahun 2023 nilai impor hidrogen peroksida Indonesia mencapai sekitar US\$21,46 juta, dengan negara pemasok utama berasal dari Thailand, Korea Selatan, Bangladesh, dan Tiongkok (WITS, 2023). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan hidrogen peroksida nasional masih cukup tinggi sehingga peluang pembangunan pabrik hidrogen peroksida di Indonesia masih terbuka. Pendirian pabrik baru diharapkan mampu mengurangi ketergantungan terhadap impor, meningkatkan ketersediaan bahan kimia dasar dalam negeri, serta memberikan nilai tambah bagi perkembangan industri kimia nasional.

Selain memenuhi kebutuhan dalam negeri, pembangunan pabrik hidrogen peroksida juga diharapkan dapat memberikan dampak positif terhadap perekonomian nasional. Keberadaan pabrik baru akan membuka lapangan pekerjaan, meningkatkan investasi pada sektor industri kimia, memperkuat rantai pasok bahan baku industri, serta meningkatkan daya saing produk industri Indonesia di pasar global. Dengan meningkatnya kapasitas produksi dalam negeri, kebutuhan berbagai industri pengguna hidrogen peroksida dapat dipenuhi secara lebih efektif, sehingga biaya pengadaan bahan baku dapat ditekan dan ketergantungan terhadap produk impor dapat dikurangi.

Hidrogen peroksida dapat diproduksi melalui beberapa metode, di antaranya proses autooksidasi antrakuinon (*anthraquinone process*), sintesis langsung dari hidrogen dan oksigen, proses elektrokimia, serta proses oksidasi isopropanol. Di antara beberapa metode tersebut, proses autooksidasi antrakuinon merupakan teknologi yang paling banyak digunakan pada industri skala besar karena memiliki efisiensi produksi yang tinggi. Namun demikian, proses tersebut memerlukan tahapan operasi yang relatif kompleks, meliputi hidrogenasi, oksidasi, ekstraksi, dan regenerasi larutan kerja. Sebagai alternatif, proses oksidasi isopropanol memiliki alur proses yang lebih sederhana sehingga sesuai untuk dijadikan objek prarancangan

pabrik, terutama dalam proses pembelajaran perancangan industri kimia. Pada proses ini, isopropanol dioksidasi sehingga menghasilkan hidrogen peroksida dengan produk samping berupa aseton yang memiliki nilai ekonomi dan banyak dimanfaatkan sebagai pelarut maupun bahan baku industri kimia lainnya (Kirk-Othmer, 2014).

Pemilihan isopropanol sebagai bahan baku dalam prarancangan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain ketersediaan bahan baku, kemudahan penanganan selama proses, serta kondisi operasi yang relatif tidak terlalu kompleks dibandingkan dengan metode produksi lainnya. Selain itu, adanya produk samping berupa aseton dapat memberikan nilai tambah secara ekonomi sehingga berpotensi meningkatkan kelayakan investasi pabrik. Dengan mempertimbangkan aspek teknis maupun ekonomis tersebut, proses oksidasi isopropanol dipandang layak untuk dijadikan dasar dalam penyusunan prarancangan pabrik hidrogen peroksida.

Prarancangan pabrik merupakan tahapan awal dalam perencanaan pembangunan suatu industri yang bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomis sebelum suatu pabrik didirikan. Dalam penyusunan prarancangan dilakukan pemilihan proses produksi, penyusunan diagram alir proses, perancangan neraca massa dan neraca energi, perancangan peralatan proses, analisis kebutuhan utilitas, tata letak pabrik, analisis keselamatan kerja, hingga evaluasi ekonomi. Seluruh aspek tersebut menjadi dasar dalam menentukan kelayakan suatu industri untuk direalisasikan.

Berdasarkan uraian tersebut, dirancang Pabrik Hidrogen Peroksida dengan Proses Oksidasi Menggunakan Bahan Baku Isopropanol Kapasitas Produksi 20.000 Ton/Tahun. Diharapkan prarancangan ini mampu memberikan alternatif dalam memenuhi kebutuhan hidrogen peroksida di Indonesia, mengurangi ketergantungan terhadap impor, meningkatkan nilai tambah sektor industri kimia nasional, serta menjadi referensi dalam pengembangan teknologi produksi hidrogen peroksida yang layak secara teknis maupun ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam prarancangan pabrik ini adalah bagaimana merancang pabrik hidrogen peroksida dari isopropanol melalui proses oksidasi dengan kapasitas produksi 20.000 ton/tahun serta bagaimana mengetahui kelayakan teknis dan ekonomis dari pabrik yang dirancang.

1.3 Tujuan Pra Rancangan Pabrik

Prarancangan pabrik ini disusun dengan tujuan untuk memberikan gambaran mengenai perancangan pabrik hidrogen peroksida yang layak secara teknis dan ekonomis. Adapun tujuan dari prarancangan pabrik ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang pabrik hidrogen peroksida dari isopropanol melalui proses oksidasi dengan kapasitas produksi 20.000 ton/tahun.
2. Menentukan spesifikasi dan kondisi operasi peralatan proses yang digunakan dalam produksi hidrogen peroksida.
3. Mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomis pendirian pabrik hidrogen peroksida.

1.4 Manfaat Pra Rancangan Pabrik

Prarancangan pabrik ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai penerapan prinsip-prinsip teknik kimia dalam perancangan pabrik.
2. Memberikan informasi mengenai kelayakan teknis dan ekonomis pendirian pabrik hidrogen peroksida sebagai dasar pertimbangan dalam pengembangan industri kimia.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam prarancangan pabrik ini lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, maka ruang lingkup pembahasan dibatasi pada perancangan pabrik hidrogen peroksida menggunakan bahan baku isopropanol

melalui proses oksidasi dengan kapasitas produksi sebesar 20.000 ton/tahun. Pembahasan meliputi pemilihan proses, penyusunan neraca massa dan neraca energi, perancangan peralatan proses utama, perhitungan kebutuhan utilitas, penyusunan tata letak pabrik, serta analisis kelayakan teknis dan ekonomis. Pembahasan tidak mencakup aspek konstruksi, pelaksanaan pembangunan pabrik, maupun analisis dampak lingkungan secara rinci.

1.6 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan lokasi pendirian pabrik karena berpengaruh terhadap kontinuitas proses produksi, efisiensi biaya transportasi, serta kelancaran distribusi produk. Pada prarancangan ini, bahan baku utama yang digunakan adalah isopropanol yang dipasok oleh CV. Karunia Makmur Persada, yang berlokasi di Kecamatan Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara. Kedekatan lokasi pemasok dengan lokasi pabrik akan mempermudah proses pengadaan bahan baku sekaligus menekan biaya logistik.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, lokasi pabrik direncanakan berada di Kawasan Industri Medan IV (KIM IV), Kelurahan Tangkahan, Kecamatan Medan Labuhan, Kota Medan, Sumatera Utara. Kawasan ini dipilih karena masih memiliki area pengembangan industri, berada tidak jauh dari lokasi pemasok bahan baku CV. Karunia Makmur Persada, memiliki akses yang baik menuju Pelabuhan Belawan, serta didukung oleh infrastruktur jalan, utilitas, dan jaringan transportasi yang memadai. Dengan demikian, KIM IV dinilai layak sebagai lokasi pendirian Pabrik Hidrogen Peroksida dengan kapasitas produksi 20.000 ton/tahun.

1.7 Penentuan Kapasitas Pabrik dan Ekstrapolasi

Penentuan kapasitas produksi merupakan salah satu tahapan penting dalam prarancangan pabrik karena berpengaruh terhadap kelayakan teknis maupun ekonomis suatu industri. Kapasitas pabrik harus mampu memenuhi kebutuhan pasar, namun tetap mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, perkembangan industri

pengguna, serta kemampuan investasi. Oleh karena itu, penentuan kapasitas pabrik hidrogen peroksida dilakukan berdasarkan data kebutuhan hidrogen peroksida di Indonesia yang tercermin dari volume impor beberapa tahun terakhir, mengingat kebutuhan dalam negeri masih belum sepenuhnya dapat dipenuhi oleh produksi nasional. Selain itu, kapasitas pabrik juga mempertimbangkan kapasitas pabrik hidrogen peroksida yang telah beroperasi baik di dalam maupun luar negeri sehingga kapasitas yang dipilih layak secara teknis dan ekonomis.

1.7.1 Data Konsumsi Hidrogen peroksida di Indonesia

Data konsumsi hidrogen peroksida selama lima tahun terakhir digunakan sebagai dasar dalam memperkirakan kebutuhan nasional dan menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang. Dengan mengetahui tren konsumsi tersebut, kapasitas pabrik yang dipilih diharapkan mampu memenuhi sebagian kebutuhan dalam negeri serta mengurangi ketergantungan terhadap produk impor. data konsumsi hidrogen peroksida di Indonesia dari tahun 2019-2023 dapat dilihat pada Tabel 1.1.

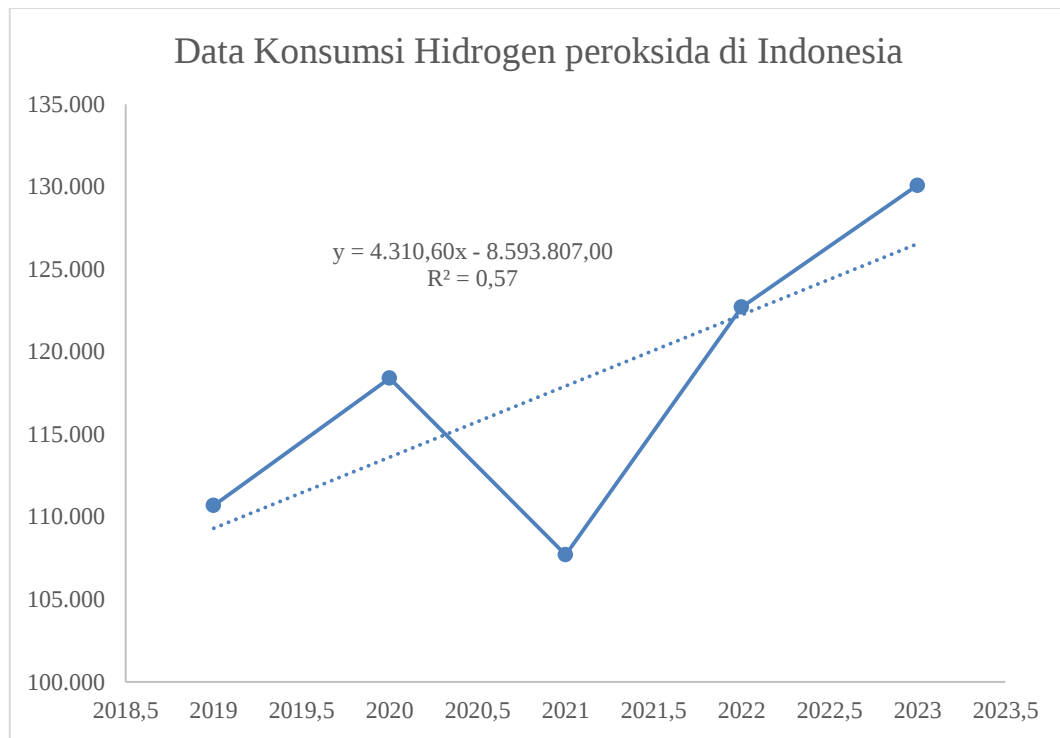
Tabel 1.1 Data Konsumsi Hidrogen peroksida di Indonesia

Tahun	Konsumsi (kL)
2019	110.681
2020	118.406
2021	107.700
2022	122.708
2023	130.083

(Sumber: *World Integrated Trade Solution (WITS)*,2023)

Konsumsi hidrogen peroksida di Indonesia berdasarkan data *World Integrated Trade Solution (WITS)* pada periode 2019–2024 ditunjukkan pada Gambar 1.1. Data tersebut memperlihatkan bahwa kebutuhan hidrogen peroksida di dalam negeri mengalami peningkatan yang relatif konsisten dari tahun ke tahun. Peningkatan konsumsi ini dipengaruhi oleh berkembangnya berbagai sektor industri yang menggunakan hidrogen peroksida sebagai bahan baku maupun bahan penunjang proses produksi, seperti industri pulp dan kertas, tekstil, pengolahan air, pertambangan, makanan, serta industri kimia.

Berdasarkan Gambar 1.1, konsumsi hidrogen peroksida meningkat dari sebesar 110.681 kL pada tahun 2019 menjadi 130.083 kL pada tahun 2024. Kenaikan tersebut menunjukkan adanya pertumbuhan permintaan yang stabil, sehingga kebutuhan pasokan hidrogen peroksida diperkirakan akan terus meningkat pada tahun-tahun mendatang. Kondisi ini menjadi salah satu indikator bahwa pengembangan kapasitas produksi hidrogen peroksida di dalam negeri masih memiliki prospek yang baik untuk mengurangi ketergantungan terhadap produk impor sekaligus memenuhi kebutuhan industri nasional.



Gambar 1.1 Grafik Konsumsi Hidrogen peroksida di Indonesia

$$y = 1.517,80x - 2.937.941,00$$

Keteransgan:

x = Tahun

y = Kebutuhan

Produksi pabrik hidrogen peroksida ini direncanakan beroperasi pada tahun 2030, sehingga untuk mencari kebutuhan volume konsumsi hidrogen peroksida pada tahun 2030, maka:

$$x = 2030$$

$$y = 1.517,80x - 2.937.941,00$$

$$y = 1.517,80(2030) - 2.937.941,00$$

$$y = 156.711 \text{ kL/tahun}$$

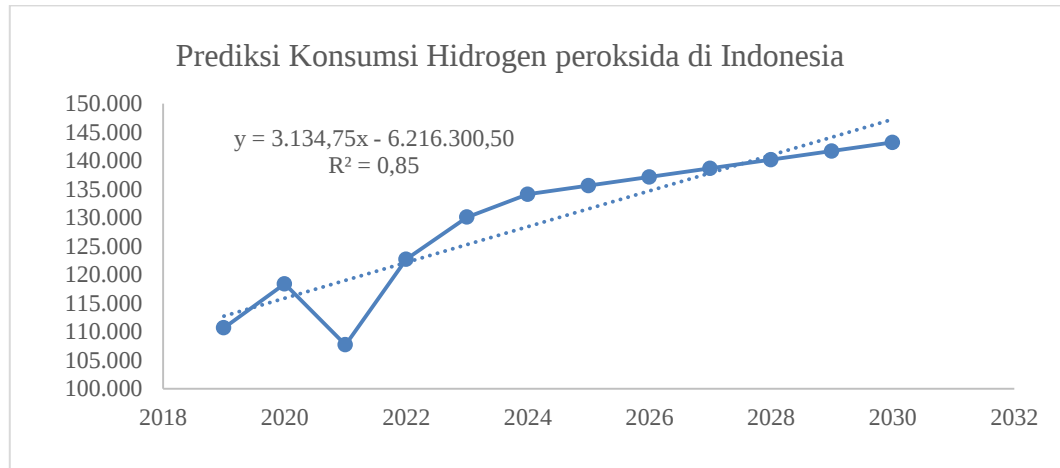
$$y = 227.230,95 \text{ ton/tahun}$$

Sehingga diperkirakan kebutuhan produksi hidrogen peroksida pada tahun 2030 adalah sebesar 227.230,95 ton/tahun, dengan tabel 1.2 konsumsi sebagai berikut:

Tabel 1.2 Prediksi Data Konsumsi Hidrogen peroksida di Indonesia tahun 2030

Tahun	Produksi (kL)
2019	110.681
2020	118.406
2021	107.700
2022	122.708
2023	130.083
2024	130.847
2025	135.158
2026	139.468
2027	143.779
2028	148.089
2029	152.400
2030	156.711

Berikut Grafik Prediksi Data Konsumsi Hidrogen peroksida di Indonesia dari tahun 2019 sampai 2030 dapat dilihat pada Gambar 1.2



Gambar 1.2 Grafik Prediksi Konsumsi Hidrogen peroksida di Indonesia

1.7.2 Data Produksi Hidrogen peroksida

Berdasarkan data yang diperoleh dari *World Integrated Trade Solution* (WITS), data produksi hidrogen peroksida di Indonesia pada periode 2019–2023 dapat dilihat pada Tabel 1.3. Data tersebut menunjukkan perkembangan produksi hidrogen peroksida dalam negeri yang menjadi salah satu dasar dalam menganalisis kemampuan industri nasional dalam memenuhi kebutuhan pasar. Informasi ini juga digunakan sebagai acuan dalam menentukan prospek pengembangan kapasitas produksi serta perencanaan pendirian pabrik hidrogen peroksida di Indonesia.

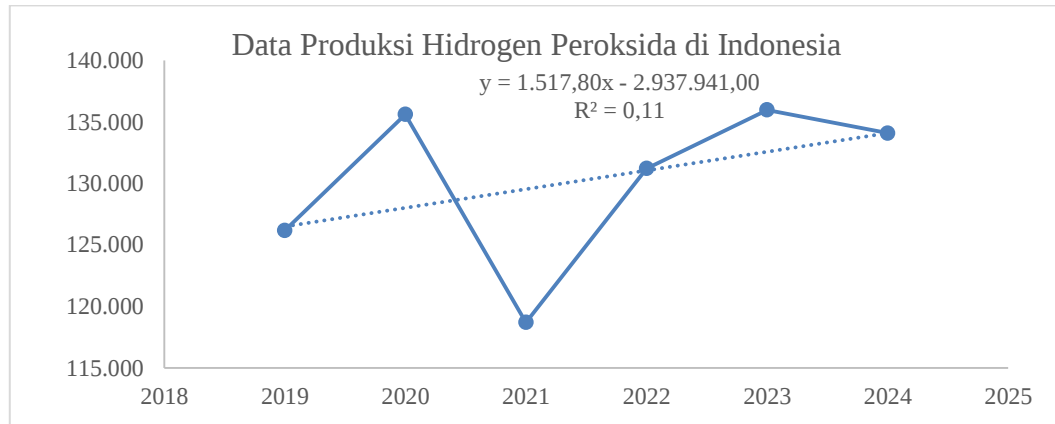
Tabel 1.3 Data Produksi Hidrogen peroksida di Indonesia

Tahun	Produksi (kL)
2019	126.181
2020	135.606
2021	118.700
2022	131.208
2023	135.969

(Sumber: *World Integrated Trade Solution* (WITS), 2023)

Produksi hidrogen peroksida di Indonesia menurut data *World Integrated Trade Solution* (WITS) pada periode 2019–2023 dapat dilihat pada Gambar 1.3.

Berdasarkan Gambar 1.3, produksi hidrogen peroksida di Indonesia menunjukkan tren yang meningkat, yaitu dari 126.181 kL pada tahun 2019 menjadi 135.969 kL pada tahun 2023.



Gambar 1.3 Grafik Produksi Hidrogen peroksida di Indonesia

Dari grafik pada gambar 1.3 dengan metode regresi linear, maka didapat persamaan:

$$y = 1.517,80x - 2.937.941,00$$

Keterangan:

x = Tahun

y = Kebutuhan

Pabrik hidrogen peroksida ini direncanakan beroperasi pada tahun 2030, sehingga untuk mencari kebutuhan volume produksi hidrogen peroksida pada tahun 2030, maka:

$$x = 2030$$

$$y = 1.517,80x - 2.937.941,00$$

$$y = 1.517,80(2030) - 2.937.941,00$$

$$y = 143.193 \text{ kL/tahun}$$

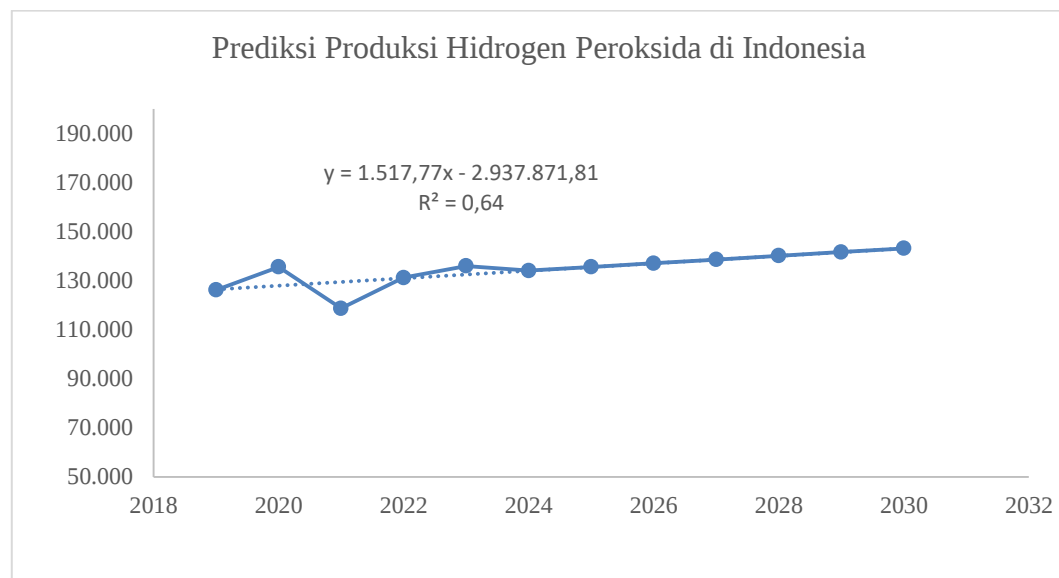
$$y = 207.629,85 \text{ ton/tahun}$$

Didapatkan hasil sekitar 207.629,85 ton/ tahun sehingga diperkirakan kebutuhan produksi hidrogen peroksida pada tahun 2030 adalah sebesar 207.629,85 ton/tahun, dengan Prediksi Data Produksi Hidrogen peroksida di Indonesia tahun 2030 dapat dilihat pada tabel 1.4 berikut:

Tabel 1.4 Prediksi Data Produksi Hidrogen peroksida di Indonesia tahun 2030

Tahun	Produksi (kL)
2019	126.181
2020	135.606
2021	118.700
2022	131.208
2023	135.969
2024	134.086
2025	135.604
2026	137.121
2027	138.639
2028	140.157
2029	141.675
2030	143.193

Berikut Grafik Prediksi Data Produksi Hidrogen peroksida di Indonesia dari tahun 2018 sampai 2030 dapat dilihat pada Gambar 1.4



Gambar 1.4 Grafik Prediksi Produksi Hidrogen peroksida di Indonesia

Penentuan kapasitas dapat ditentukan dengan pertimbangan data perkiraan konsumsi hidrogen peroksida di Indonesia pada tahun 2030 sebesar 17.119.721,71 ton dan perkiraan produksi hidrogen peroksida di Indonesia pada tahun 2030 sebesar 16.720.616,28 ton. Maka untuk itu penentuan kapasitas Pra Rancangan pabrik hidrogen peroksida pada tahun 2030 adalah sebagai berikut:

Kapasitas Pra Rancangan

= Konsumsi – Produksi

= 227.230,95 – 207.629,85 ton/tahun

= 19.601,10 ton/tahun

Maka dalam hal ini Pra Rancangan pabrik hidrogen peroksida proses transesterifikasi adalah sebesar 20.000 ton/tahun. Pada Tabel 1.5 dan 1.6 ditunjukkan pabrik hidrogen peroksida yang telah berdiri di dunia dan di Indonesia.

Tabel 1.5 Pabrik Hidrogen peroksida di Indonesia

No	Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
1	PT Evonik Peroxide Indonesia	Cikarang, Jawa Barat	50.000
2	PT Hidrogen Peroxida Indonesia (HPI)	Serang/Merak, Banten	40.000
3	PT Peroksida Indonesia Pratama (PIP)	Cikampek, Jawa Barat	51.000
4	PT Samator Inti Peroksida	Gresik, Jawa Timur	20.000
5	PT Sindopex Perotama	Sidoarjo/Mojokerto, Jawa Timur	18.000
6	PT Pupuk Iskandar Muda (PIM) (Eks AAF)	Lhokseumawe, Aceh	12.000
7	PT Evonik Peroxide Indonesia	Cikarang, Jawa Barat	50.000

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2025)

Berdasarkan Tabel 1.5, dapat dilihat bahwa kapasitas pabrik hidrogen peroksida di Indonesia berkisar antara 9.000–48.000 ton/tahun, dengan total kapasitas terpasang sekitar 101.000 ton/tahun. Oleh karena itu, kapasitas pabrik hidrogen peroksida yang direncanakan sebesar 20.000 ton/tahun masih berada dalam kisaran kapasitas pabrik yang telah beroperasi di Indonesia, sehingga dinilai realistis untuk memenuhi kebutuhan hidrogen peroksida yang terus meningkat seiring dengan perkembangan industri pengguna seperti industri pulp dan kertas, tekstil, pengolahan air, serta industri kimia.

Berdasarkan Tabel 1.6, pabrik hidrogen peroksida berskala besar masih terkonsentrasi di beberapa negara seperti Brazil, Germany, China dan Argentina sementara distribusi kapasitas produksi belum merata secara global. Kondisi ini menunjukkan adanya peluang pendirian pabrik hidrogen peroksida baru.

Tabel 1.6 Pabrik Hidrogen peroksida di Dunia

No.	Perusahaan	Lokasi	Negara	Kapasitas (ton/tahun)
1	Solvay Peroxides	Map Ta Phut	Thailand	330.000
2	Solvay Peroxides	Jubail	Arab Saudi	300.000
3	Solvay Peroxides	Antwerp (Zandvliet)	Belgia	230.000
4	Arkema Hydrogen Peroxide Co., Ltd.	Shanghai	China	77.000
5	Solvay Peroxides	Zhenjiang	China	60.000

(Sumber: Arkema. (2024), Solvay. (2025), Solvay. (2016))

1.8 Seleksi Pemilihan Proses

Hidrogen peroksida (H_2O_2) merupakan salah satu bahan kimia anorganik yang banyak digunakan sebagai oksidator pada industri pulp dan kertas, tekstil, pengolahan air, elektronik, serta sintesis kimia. Secara umum, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk memproduksi hidrogen peroksida, yaitu proses elektrolisis, proses antrakuinon (*anthraquinone process*), dan proses oksidasi alkohol sekunder seperti isopropanol. Masing-masing proses memiliki karakteristik yang berbeda dari segi bahan baku, kondisi operasi, kompleksitas proses, hasil samping, maupun aspek ekonominya.

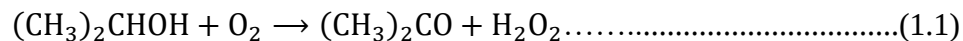
1.8.1 Oksidasi Isopropanol

Proses oksidasi isopropanol merupakan salah satu metode sintesis hidrogen peroksida melalui reaksi oksidasi parsial isopropanol menggunakan oksigen atau udara. Pada proses ini, isopropanol mengalami dehidrogenasi oksidatif sehingga menghasilkan hidrogen peroksida sebagai produk utama dan aseton sebagai produk samping. Walaupun saat ini sebagian besar industri menggunakan proses anthraquinone, proses oksidasi isopropanol masih banyak dijadikan objek kajian

akademik karena alur prosesnya relatif sederhana dan menghasilkan produk samping yang memiliki nilai jual tinggi (Kirk-Othmer, 2019).

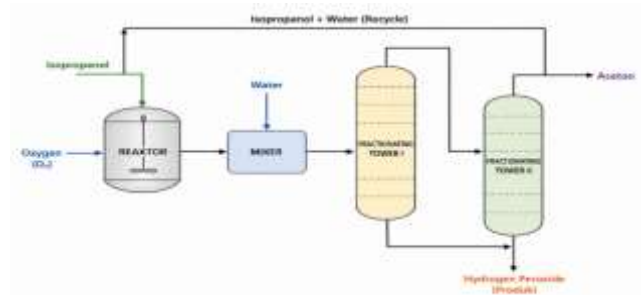
a. Reaksi Kimia

Campuran isopropanol dan oksigen dialirkan ke dalam reaktor oksidasi. Di dalam reaktor berlangsung reaksi oksidasi parsial menghasilkan hidrogen peroksida dan aseton.



(Kirk-Othmer, 2019).

b. Flowsheet Dasar



Gambar 1.5 Flowsheet Dasar Proses Esterifikasi (Diadaptasi dari Kirk-Othmer, 2019).

Diketahui = Isopropanol (l) = $-318,1 \text{ kJ/mol}$ (Snelson and Skinner, 1961)
 = $\text{O}_2 \text{ (g)}$ = 0 kJ/mol (Chase.,1998)
 = Aseton (l) = $248,4 \text{ kJ/mol}$ (Wiberg, Crocker, et al., 1991)
 = $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ (l)}$ = $-187,8 \text{ kJ/mol}$ (Wagman et al..1982)

$$\Delta H_{\text{rxn}}^\circ = \sum \Delta H_f^\circ(\text{produk}) - \sum \Delta H_f^\circ(\text{reaktan}) \dots \dots \dots (1.2)$$

$$= [(-248,4) + (-187,8)] - [(-318,1) + 0]$$

$$= -118 \text{ kJ/mol (eksotermis)}$$

Berdasarkan Gambar 1.5, proses produksi hidrogen peroksida diawali dengan pencampuran bahan baku isopropanol dan udara/oksigen yang terlebih dahulu dipersiapkan melalui unit pompa, kompresor, dan *heat exchanger*. Campuran reaktan kemudian dialirkan ke reaktor oksidasi (R-101) untuk menghasilkan hidrogen peroksida dan aseton. Produk hasil reaksi selanjutnya didinginkan dan dipisahkan

pada gas-liquid separator (V-101) sehingga gas yang tidak bereaksi dapat dipisahkan dari fase cair. Fase cair kemudian dimurnikan menggunakan dua tahap distilasi, yaitu kolom distilasi pertama (D-101) untuk memisahkan aseton sebagai produk samping dan kolom distilasi kedua (D-102) untuk memperoleh hidrogen peroksida sebagai produk utama. Isopropanol yang belum bereaksi direcycle kembali ke proses sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku

c. Uraian Proses

Uraian proses menjelaskan tahapan produksi hidrogen peroksida menggunakan proses oksidasi isopropanol, mulai dari persiapan bahan baku, pembentukan produk di dalam reaktor, hingga pemisahan dan pemurnian produk. Setiap tahapan dirancang agar proses berlangsung secara efisien dengan menghasilkan hidrogen peroksida sesuai spesifikasi serta memanfaatkan kembali bahan baku yang belum bereaksi melalui sistem recycle. Secara umum, proses produksi terdiri atas tiga tahap utama, yaitu persiapan bahan baku, pembentukan produk, dan pemisahan produk (Kirk-Othmer, 2019).

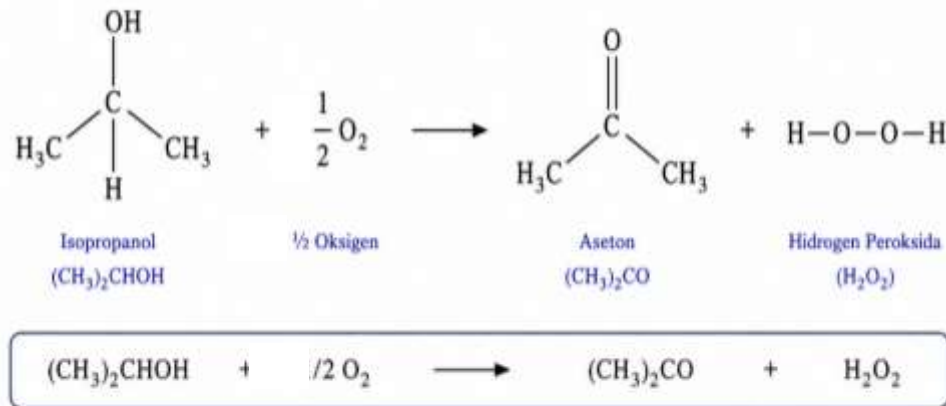
1. Tahapan Persiapan Bahan Baku

Bahan baku utama berupa isopropanol disimpan dalam tangki penyimpanan pada kondisi atmosferik. Sebelum memasuki reaktor, isopropanol dipompa menuju *heat exchanger* untuk dinaikkan temperaturnya hingga mendekati temperatur operasi. Oksigen atau udara dimampatkan menggunakan kompresor hingga mencapai tekanan operasi kemudian dicampurkan dengan aliran isopropanol sebelum memasuki reaktor oksidasi (Perry & Green, 2019).

2. Pembentukan Produk

Berdasarkan Gambar 1.6, campuran isopropanol dan oksigen dialirkan ke dalam reaktor oksidasi. Di dalam reaktor berlangsung reaksi oksidasi parsial menghasilkan hidrogen peroksida dan aseton. Reaksi berlangsung pada temperatur sekitar 130°C dan tekanan 10–20 atm. Panas yang dihasilkan selama reaksi dikendalikan menggunakan sistem pendingin agar temperatur reaktor tetap stabil

sehingga konversi reaksi dapat dipertahankan pada kondisi optimum (Kirk-Othmer, 2019).



Gambar 1.6 Reaksi Oksidasi Isopropanal Menjadi Hidrogen Peroksida (Kirk-Othmer, 2014)

3. Pemisahan Produk

Produk keluar reaktor berupa campuran hidrogen peroksida, aseton, isopropanol yang belum bereaksi, air, dan oksigen sisa. Campuran tersebut terlebih dahulu didinginkan kemudian dialirkan menuju gas-liquid separator untuk memisahkan gas yang tidak bereaksi. Fase cair kemudian diproses pada kolom distilasi pertama untuk memisahkan aseton sebagai produk atas. Aliran bawah kolom yang mengandung hidrogen peroksida dan isopropanol selanjutnya dipisahkan pada kolom distilasi kedua. Hidrogen peroksida diperoleh sebagai produk utama, sedangkan isopropanol yang belum bereaksi direcycle kembali menuju reaktor sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku (Perry & Green, 2019).

Tabel 1.7 Parameter kondisi operasi

Parameter	Nilai
Temperatur	70-160°C
Tekanan	10–20 atm
Fase	Cair-Gas
Konversi	90%
Yield	90%

(Sumber: Kirk & Othmer, 1983)

d. Uji Ekonomi Awal

Analisa biaya ekonomi awal pada pembuatan hidrogen peroksida dengan proses Isopropanol dapat dilihat pada Tabel 1.7 di bawah ini:

Tabel 1.8 Analisa Ekonomi Awal Proses Esterifikasi

Bahan yang Digunakan	BM (g/mol)	Harga (Rp/kg)
Bahan baku		
Isopropanol	60,10	28.000
Oksigen	32,00	4.500
Produk		
Hidrogen Peroksida	34,01	38.000
Aseton	58,08	22.000

Bahan Baku

- Isopropanol $= 60,10 \text{ g/mol} \times (1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) \times \text{Rp}28.000/\text{kg}$
 $= \text{Rp}1.682,80/\text{mol}$
- Oksigen $= 32,00 \text{ g/mol} \times (1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) \times \text{Rp}4.500/\text{kg}$
 $= \text{Rp}144,00/\text{mol}$

Total Biaya Bahan Baku

$$= \text{Rp}1.682,80 + \text{Rp}144,00$$
$$= \text{Rp}1.826,80/\text{mol}$$

Produk

- Hidrogen Peroksida $= 34,01 \text{ g/mol} \times (1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) \times \text{Rp}38.000/\text{kg}$
 $= \text{Rp}1.292,38/\text{mol}$
- Aseton
 $= 58,08 \text{ g/mol} \times (1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) \times \text{Rp}25.000/\text{kg}$
 $= \text{Rp}2.032,80/\text{mol}$

Total Nilai Produk

$$= \text{Rp}1.292,38 + \text{Rp}2.032,80$$
$$= \text{Rp}3.325,28/\text{mol}$$

Keuntungan

$$\begin{aligned}
 \text{Laba Kotor} &= \text{Total Nilai Produk} - \text{Total Biaya Bahan Baku} \\
 &= \text{Rp}2.570,14 - \text{Rp}3.325,28 \\
 &= \text{Rp}1.498,38/\text{mol}
 \end{aligned}$$

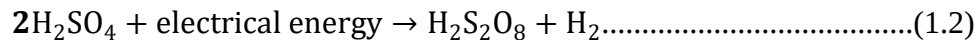
1.8.2 Proses Elektrolisis Larutan Sulfat

Proses elektrolisis larutan sulfat merupakan metode awal yang digunakan dalam produksi hidrogen peroksida secara industri. Pada proses ini, larutan asam sulfat dielektrolisis sehingga menghasilkan ion peroksodisulfat pada anoda. Selanjutnya senyawa tersebut mengalami hidrolisis membentuk hidrogen peroksida dan asam sulfat yang dapat digunakan kembali dalam proses (Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2022).

a. Reaksi Kimia

Pada proses elektrolisis, larutan asam sulfat (H_2SO_4) digunakan sebagai elektrolit untuk meningkatkan konduktivitas listrik. Asam sulfat tidak ikut habis bereaksi, tetapi hanya berfungsi sebagai media penghantar ion. Air mengalami dekomposisi menjadi gas hidrogen pada katoda dan gas oksigen pada anoda.

Reaksi pada katoda (reduksi)

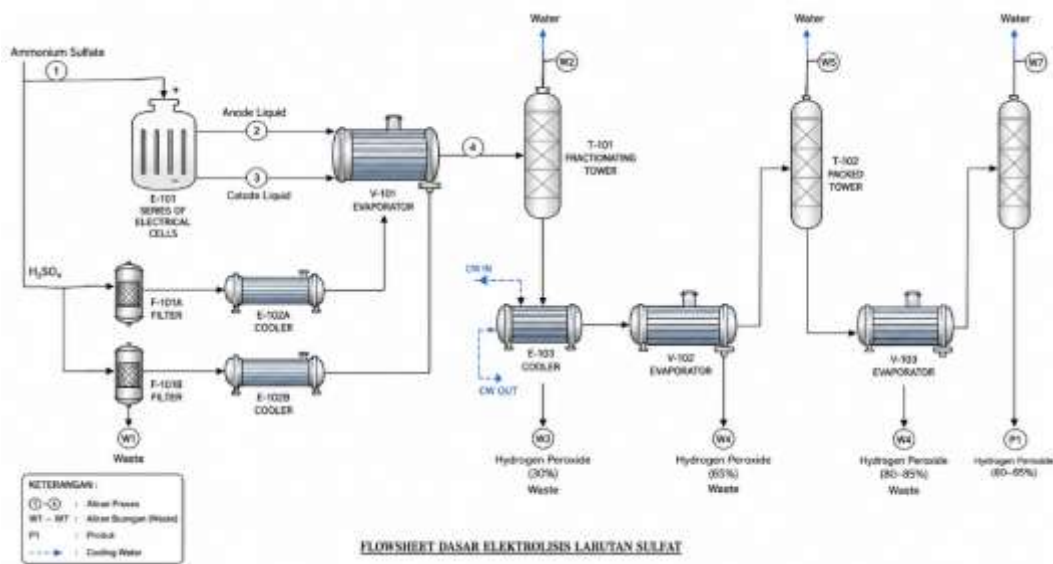


(Perry & Green, 2019)

b. Flowsheet Dasar

Berdasarkan Gambar 1.7 Flowsheet proses elektrolisis larutan sulfat, Proses produksi hidrogen dan oksigen diawali dengan mengalirkan air demineralisasi (Air DM) ke dalam tangki air baku sebagai tempat penyimpanan sementara. Air demineralisasi dipilih karena memiliki kandungan ion yang sangat rendah sehingga dapat meningkatkan efisiensi elektrolisis dan mencegah pembentukan kerak pada elektroda.

Dari tangki air baku, air dialirkan menuju mixer untuk dicampur dengan larutan asam sulfat (H_2SO_4) yang berasal dari tangki H_2SO_4 . Penambahan H_2SO_4 bertujuan meningkatkan konduktivitas listrik larutan elektrolit sehingga proses perpindahan ion selama elektrolisis berlangsung lebih efektif. Konsentrasi H_2SO_4 diatur sesuai kebutuhan agar tidak menyebabkan korosi yang berlebihan pada peralatan.



Gambar 1.7 Flowsheet Dasar Proses elektrolisis larutan sulfat (Green, D.W. and Southard, M.Z. 2019)

Larutan elektrolit yang telah homogen kemudian dipompa menggunakan pompa umpan menuju sel elektrolisis. Di dalam sel elektrolisis terjadi reaksi penguraian air akibat aliran arus listrik searah (DC).

C. Uraian Proses

1. Tahapan Persiapan Bahan Baku

Tahap awal proses dilakukan dengan menyiapkan air demineralisasi (*demineralized water*) sebagai bahan baku utama. Air demineralisasi dipilih karena memiliki kandungan ion logam yang sangat rendah sehingga dapat mengurangi pembentukan kerak pada elektroda dan memperpanjang umur peralatan. Larutan

asam sulfat dengan konsentrasi sekitar 20–30% berat disiapkan di dalam tangki penyimpanan elektrolit. Selanjutnya, air demineralisasi dan larutan asam sulfat dicampurkan di dalam *mixer* hingga diperoleh larutan elektrolit yang homogen. Larutan ini kemudian dipompa menuju sel elektrolisis dengan laju alir yang dikendalikan agar proses berlangsung secara stabil. Asam sulfat berfungsi sebagai penghantar ion sehingga meningkatkan konduktivitas listrik di dalam larutan. Selama proses berlangsung, asam sulfat tidak mengalami perubahan komposisi secara signifikan sehingga dapat digunakan kembali melalui sistem *recycle* (Walsh, 1993).

2. Pembentukan Produk

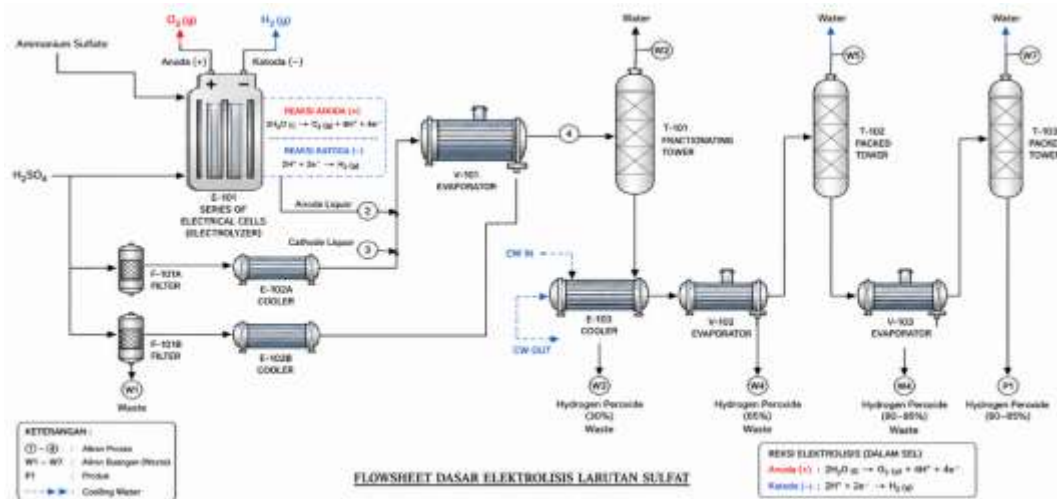
Berdasarkan gambar 1.8 Larutan elektrolit dialirkan secara kontinu menuju sel elektrolisis yang dilengkapi dengan elektroda anoda dan katoda. Selanjutnya diberikan arus listrik searah (DC) sehingga terjadi reaksi elektrokimia. Pada elektroda katoda terjadi reaksi reduksi ion hidrogen menjadi gas hidrogen.



Gas hidrogen yang terbentuk akan muncul sebagai gelembung dan naik menuju bagian atas sel elektrolisis. Sementara itu pada elektroda anoda terjadi oksidasi molekul air menghasilkan gas oksigen.



Ion hidrogen yang terbentuk pada anoda akan kembali bergerak menuju katoda sehingga proses dapat berlangsung secara kontinu. Secara keseluruhan air mengalami dekomposisi menjadi hidrogen dan oksigen dengan perbandingan volume sekitar 2:1, sesuai dengan stoikiometri reaksi.



Gambar 1.8 Mekanisme Proses elektrolisis larutan sulfat (diadaptasi dari Çengel et al. 2019)

3. Pemisahan Produk

Gas hidrogen dan gas oksigen yang keluar dari sel elektrolisis masih memiliki temperatur yang relatif tinggi serta membawa sejumlah uap air. Oleh karena itu, masing-masing aliran gas terlebih dahulu dialirkan menuju cooler untuk menurunkan temperatur hingga mendekati suhu lingkungan (Green & Southard, 2019).

Selanjutnya gas memasuki separator gas-cair. Di dalam separator terjadi pemisahan antara gas dengan tetesan air yang ikut terbawa selama proses elektrolisis. Air hasil kondensasi dikembalikan ke sistem elektrolit agar kehilangan air dapat diminimalkan (Towler & Sinnott, 2022).

Gas hidrogen dan oksigen yang telah memenuhi spesifikasi kemudian dialirkan menuju tangki penyimpanan atau unit kompresor apabila akan didistribusikan dalam bentuk gas bertekanan (Perry's Chemical Engineers' Handbook, Green & Southard, 2019).

Larutan elektrolit yang masih memiliki konsentrasi sesuai spesifikasi dipompa kembali menuju sel elektrolisis sehingga kebutuhan make-up asam sulfat relatif kecil. Sistem recycle ini bertujuan meningkatkan efisiensi penggunaan elektrolit dan mengurangi biaya operasi (Walsh, 1993).

d. Uji Ekonomi Awal

Katalis Homogen

Awal Analisa biaya ekonomi awal pada pembuatan hidrogen peroksida dengan proses transesterifikasi katalis homogen dapat dilihat pada Tabel 1.9 di bawah ini:

Tabel 1.9 Analisa Ekonomi Awal Proses Elektrolisis Larutan Sulfat

Bahan yang Digunakan	BM (g/mol)	Harga (Rp/kg)
Bahan Baku		
Air (H ₂ O)	18,015	100
Asam Sulfat (H ₂ SO ₄) (make-up)	98,079	4.500
Produk		
Hidrogen Peroksida (100%)	34,01	38.000
Oksigen (O ₂)	31,998	8.000

Bahan Baku

- Air $= 18,015 \text{ g/mol} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \text{Rp } 100$
 $= \text{Rp } 1,80$
- Asam Sulfat (make-up) $= 98,079 \text{ g/mol} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \text{Rp } 4.500$
 $= \text{Rp } 441,36$
- Total Biaya Bahan Baku $= \text{Rp } 1,80 + \text{Rp } 441,36$
 $= \text{Rp } 443,16$

Produk

- Hidrogen Peroksida $= 34,01 \text{ g/mol} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \text{Rp } 38.000/\text{kg}$
 $= \text{Rp } 1.292,38$
- Oksigen $= 31,998 \text{ g/mol} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \text{Rp } 8.000$
 $= \text{Rp } 255,98$
- Total Produk $= \text{Rp } 1.292,38 + \text{Rp } 255,98$
 $= \text{Rp } 1.548,36$

Keuntungan Awal = Rp1.548,36–Rp443,16
= Rp.1.991,52

1.8.3 Tabel perbandingan proses dan Analisa ekonomi awal

Tabel 1.10 Perbandingan Metode dalam Pembuatan Hidrogen peroksida

Perbandingan	Proses Oksidasi Isopropanol	Proses Elektrolisis Larutan Sulfat
Suhu Operasi	90–140 °C	60–80 °C
Tekanan	10–20 atm	40–50 atm
Bahan Baku	Isopropanol dan udara/oksigen	Air demineralisasi dan larutan H ₂ SO ₄
Katalis	Umumnya tidak memerlukan katalis	Tidak menggunakan katalis
Konversi	80–90%	85–95%
Produk Samping	Aseton	Gas oksigen (O ₂)
Tahapan Proses	Oksidasi, pemisahan, pemurnian	Elektrolisis, pendinginan, pemisahan gas
Kebutuhan Energi	Sedang	Tinggi (energi listrik)
Investasi Awal	Sedang	Sedang–tinggi
Dampak Lingkungan	Menghasilkan senyawa organik (aseton)	Lebih ramah lingkungan, tanpa pelarut organik

(**Sumber:** Perry & Green, 2019; Towler & Sinnott, 2022; Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2014)

Dalam prarancangan pabrik hidrogen peroksida, pemilihan metode proses merupakan aspek penting karena memengaruhi kondisi operasi, kebutuhan bahan baku, konversi reaksi, biaya investasi, biaya operasi, serta dampak lingkungan. Oleh karena itu, dilakukan perbandingan antara proses oksidasi isopropanol dan proses elektrolisis larutan sulfat untuk menentukan proses yang paling sesuai diterapkan. Perbandingan kedua metode tersebut disajikan pada Tabel 1.10. Berdasarkan Tabel 1.10, proses oksidasi isopropanol memiliki keunggulan pada kebutuhan energi listrik yang lebih rendah karena pembentukan hidrogen peroksida berlangsung melalui reaksi oksidasi senyawa organik. Selain itu, produk samping berupa aseton

masih memiliki nilai ekonomis dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kimia. Namun, proses ini memerlukan bahan baku organik yang lebih mahal serta tahapan pemisahan dan pemurnian yang lebih kompleks.

Tabel 1.11 Perbandingan Analisa Ekonomi Metode dalam Pembuatan Hidrogen peroksida

Proses	Total Biaya Bahan Baku (Rp)	Total Nilai Produk (Rp)	Laba / Rugi (Rp)
Oksidasi	1.827	443	1.498
Elektrolisis	3.325	1.548	1.105

Berdasarkan Tabel 1.12, proses oksidasi menghasilkan laba kotor sebesar Rp1.498, lebih tinggi dibandingkan proses elektrolisis sebesar Rp1.105. Meskipun biaya bahan baku proses oksidasi lebih besar, nilai produk yang dihasilkan juga lebih tinggi karena adanya produk samping aseton yang bernilai ekonomis. Oleh karena itu, proses oksidasi dipilih karena lebih menguntungkan dan lebih layak diterapkan pada produksi hidrogen peroksida skala industri.

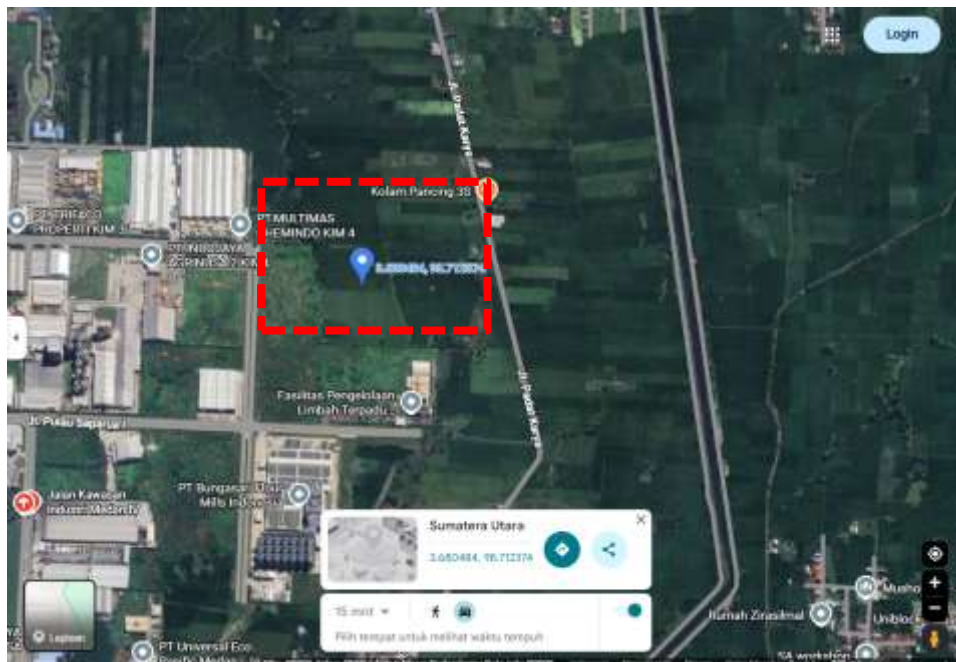
1.9 Pemilihan Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik direncanakan berada di Kawasan Industri Medan IV (KIM IV), Kelurahan Tangkahan, Kecamatan Medan Labuhan, Kota Medan, Sumatera Utara. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kedekatannya dengan sumber bahan baku utama, yaitu isopropanol dan oksigen. Pasokan oksigen dapat diperoleh dari P CV. Karunia Makmur Persada yang berlokasi di Kawasan Industri Medan IV, sehingga kontinuitas penyediaan bahan baku isopropanol diperoleh dari pemasok bahan kimia yang memiliki jaringan distribusi di kawasan industri Sumatera Utara, sehingga proses pengadaan bahan baku dapat dilakukan dengan lebih efisien.

Selain dekat dengan sumber bahan baku, Kawasan Industri Medan IV juga memiliki akses transportasi yang baik karena terhubung dengan Jalan Tol Belmera serta berada relatif dekat dengan Pelabuhan Belawan, sehingga memudahkan distribusi bahan baku maupun produk ke berbagai daerah. Kawasan ini juga telah dilengkapi dengan infrastruktur industri yang memadai, seperti jaringan listrik,

penyediaan air bersih, sistem pengolahan limbah, serta jaringan jalan internal yang mendukung kelancaran operasional pabrik.

Dengan mempertimbangkan aspek ketersediaan bahan baku, kemudahan transportasi, kelengkapan utilitas, serta potensi pengembangan kawasan industri, Kawasan Industri Medan IV dinilai layak sebagai lokasi pendirian Pabrik Hidrogen Peroksida dengan proses oksidasi isopropanol berkapasitas 20.000 ton/tahun. Lokasi pembangunan pabrik dapat dilihat pada Gambar 1.9.



Gambar 1.10 Kawasan Industri Medan IV (KIM IV), Kelurahan Tangkahan, Kecamatan Medan Labuhan, Kota Medan (Google Maps,2026)