

**PRARANCANGAN PABRIK KIMIA HIDROGEN MENGGUNAKAN
PROSES ELEKTROLISIS AIR DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN
TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Kimia



Disusun Oleh:

Nama	: Faris El Hakim	Nama	: Rosma Nuraini
No. Mahasiswa	: 19521192	No. Mahasiswa	: 19521039

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL
PRARANCANGAN PABRIK KIMIA HIDROGEN MENGGUNAKAN
PROSES ELEKTROLISIS AIR DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Faris El Hakim	Nama	: Rosma Nuraini
No. Mahasiswa:	19521192	No. Mahasiswa:	19521039

Yogyakarta, 24 Juni 2026

Menyatakan bahwa seluruh hasil Perancangan ini adalah hasil karya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun. Demikian surat pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.



Faris El Hakim
19521192



Rosma Nuraini
19521039

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
PRARANCANGAN PABRIK KIMIA HIDROGEN MENGGUNAKAN
PROSES ELEKTROLISIS AIR DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK:

Oleh:

Nama : Faris El Hakim

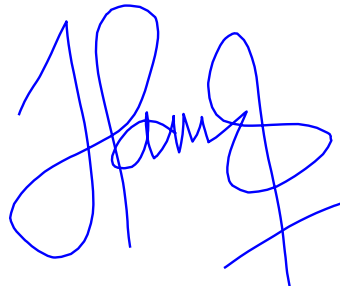
Nama : Rosma Nuraini

No. Mahasiswa : 19521192

No. Mahasiswa : 19521039

Yogyakarta,

Pembimbing



Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
PRARANCANGAN PABRIK KIMIA HIDROGEN MENGGUNAKAN
PROSES ELEKTROLISIS AIR DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK:

Oleh:

Nama : Faris El Hakim

Nama : Rosma Nuraini

No. Mahasiswa : 19521192

No. Mahasiswa : 19521039

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

Tim Penguji,

Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc.

Ketua

Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.

Dosen Penguji I

Cholila Tamzysi, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dosen Penguji II



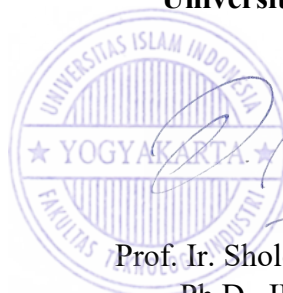
 27/07/2026

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Prof. Ir. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T.,
Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, sahabat serta pengikutnya.

Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik yang berjudul “PRARANCANGAN PABRIK KIMIA HIDROGEN MENGGUNAKAN PROSES ELEKTROLISIS AIR DENGAN KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN” merupakan serangkaian tugas yang harus dilakukan oleh setiap mahasiswa sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Kimia di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penulisan laporan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar atas bantuan dari berbagai pihak. Maka dalam kesempatan ini, Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan karunia dan Hidayah-Nya.
2. Kedua Orang Tua kami, Orang Tua penulis (Rosma Nuraini) yang sangat berjasa dan disayangi. Saya sangat bersyukur kepada Bapak Davies selaku Kepala Keluarga dan Ibu Widya Ruzia yang selalu memberikan dukungan hangat dan sandaran terkuat untuk anak-anaknya. Saya mengucapkan terimakasih yang sangat dalam atas perjuangannya, dukungan doa yang tidak pernah putus, semangat dan motivasi yang selalu diberikan selama menempuh Pendidikan S1 Teknik Kimia di Universitas Islam Indonesia.
3. Kepada Orang Tua penulis (Faris El Hakim), Bapak Effendi Mudasa selaku Kepala Keluarga dan Ibu Nilawati yang selalu mendukung, mendoakan, memberikan semangat dan motivasi selama menempuh pendidikan S1 Teknik Kimia di Universitas Islam Indonesia.

4. Bapak Khamdan Cahyari., Dr., S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, masukan dan bimbingan dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini. Terimakasih atas kesabaran bapak terhadap kami. Semoga Bapak senantiasa diberikan kesehatan dan kebahagiaan selalu.
5. Teman-teman Teknik Kimia 2019 yang selalu memberikan dukungan, semangat serta doa.
6. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu, dalam membantu penyusunan Tugas Akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 20 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kapasitas	2
1.3 Tinjauan Pustaka.....	7
1.3.1 <i>Steam Reforming</i>	7
1.3.2 <i>Biological Process</i>	7
1.3.3 <i>Partial Oxidation</i>	8
1.3.4 Elektrolisis Air.....	8
1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika	10
1.4.1 Tinjauan Kinetika	10
1.4.2 Tinjauan Termodinamika	11
BAB II	13
PERANCANGAN PRODUK	13
2.1 Spesifikasi Produk	13
2.2 Spesifikasi Bahan Baku	13
2.3 Spesifikasi Bahan Pembantu	14
2.4 Pengendalian Kualitas.....	14
2.4.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku	14
2.4.2 Pengendalian Kualitas Produksi.....	15
2.4.3 Pengendalian Kualitas Produk	15

BAB III.....	17
PERANCANGAN PROSES.....	17
3.1 Diagram Alir Proses dan Material.....	17
3.1.1 Diagram Alir Kualitatif	17
3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif.....	18
3.2 Uraian Proses	20
3.2.1 Persiapan Bahan Baku	20
3.2.2 Proses Pembuatan Produk	20
3.2.3 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk.....	21
3.3 Spesifikasi Alat Proses.....	22
3.3.1 Tangki.....	22
3.3.2 Reaktor.....	24
3.3.3 Pompa.....	25
3.3.4 Heater	25
3.3.5 Tangki Silika.....	27
3.3.6 Cooler.....	28
3.3.7 Kompresor	31
3.3.8 Tangki KOH	32
3.3.9 Mixer	33
3.4 Neraca Massa	33
3.4.1 Neraca Massa Total.....	34
3.4.2 Neraca Massa Reaktor (R-01).....	34
3.4.3 Neraca Massa Tangki Silika 1 (TS-01).....	34
3.4.4 Neraca Massa Tangki Silika 2 (TS-02).....	35
3.5 Neraca Panas.....	35
3.5.1 Neraca Panas Reaktor (R-01).....	35
3.5.2 Neraca Panas Heater (H-01).....	35
3.5.3 Neraca Panas Cooler (CL-01)	36
3.5.4 Neraca Panas Cooler (CL-02)	36
3.5.5 Neraca Panas Cooler (CL-03)	36
3.5.6 Neraca Panas Cooler (CL-04)	37
BAB IV	38
PERANCANGAN PABRIK.....	38

4.1	Lokasi Pabrik.....	38
4.1.1.	Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik	38
4.1.2.	Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik	39
4.2	Tata Letak Pabrik	40
4.3	Tata Letak Mesin/Alat Proses	43
4.3.1	Aliran bahan Baku dan Produk.....	43
4.3.2	Aliran Udara.....	44
4.3.3	Pencahayaan	44
4.3.4	Lalu Lintas Kendaraan dan Manusia	44
4.3.5	Jarak Antar Alat Proses	44
4.3.6	Pertimbangan Ekonomi.....	45
4.4	Organisasi Perusahaan.....	45
4.4.1	Bentuk Organisasi.....	45
4.4.2	Struktur Organisasi	46
4.4.3	Tugas dan Wewenang	49
4.4.4	Status Karyawan dan Sistem Upah	53
4.4.5	Pembagian Jam Kerja Karyawan	54
4.4.6	Status, Sistem Penggajian dan Penggolongan Karyawan	55
BAB V		64
UTILITAS		64
5.1.	Unit Penyediaan dan Pengolahan Air.....	66
5.1.1.	Unit Penyediaan Air.....	66
5.1.2.	Pengolahan Air	67
5.2.	Unit Pembangkit <i>Steam</i>	69
5.3.	Unit Penyedia Bahan Bakar	70
5.4.	Unit Pembangkit Listrik	70
5.5.	Unit Penyedia Udara Tekan	71
5.6.	Spesifikasi Alat Utilitas	72
5.6.1.	Bak Pengendap Awal	72
5.6.2.	Bak Pencampur Cepat	72
5.6.3.	Klarifier.....	72
5.6.4.	Saringan Pasir	73
5.6.5.	Bak Air Bersih	73

5.6.6.	Bak Air Minum	73
5.6.7.	Menara Pendingin	74
5.6.8.	Tangki Penukar Kation	74
5.6.9.	Tangki Penukar Anion	74
5.6.10.	Tangki HCl.....	75
5.6.11.	Tangki CH ₃ OH.....	75
5.6.12.	Tangki Umpan Boiler	75
5.6.13.	Tangki Kondensat.....	76
5.6.14.	Pompa	76
BAB VI.....		78
EVALUASI EKONOMI.....		78
6.1.	Evaluasi Ekonomi.....	78
6.2.	Penaksiran Harga Peralatan	78
6.2.1.	Dasar Perhitungan	81
6.2.2.	<i>Total Capital Investment</i>	81
6.2.3.	<i>Total Production Cost</i>	83
6.3.	Analisa Kelayakan.....	86
6.3.1.	Analisis Keuntungan.....	87
6.3.2.	<i>Percent Return on Investment (ROI)</i>	87
6.3.3.	<i>Pay Out Time (POT)</i>	87
6.3.4.	<i>Break Even Point (BEP)</i>	88
6.3.5.	<i>Shut Down Point (SDP)</i>	90
6.3.6.	<i>Discount Cost Flow Rate (DCFR)</i>	90
BAB VII		93
KESIMPULAN DAN SARAN		93
7.1	Kesimpulan	93
7.2	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....		95
LAMPIRAN A.....		97
Spesifikasi Reaktor		97
LAMPIRAN B		107
<i>Process Engineering Flow Diagram (PEFD)</i>		107
.....		Error! Bookmark not defined.

LAMPIRAN C.....	95
Kartu Konsultasi Bimbingan Prarancangan.....	95

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor Hidrogen di Indonesia (IEA)	3
Tabel 1. 2 Data ekspor Hidrogen di Indonesia (IEA)	3
Tabel 1. 3 Data Konsumsi Hidrogen di Indonesia (IEA).....	4
Tabel 1. 4 Data Produksi Hidrogen di Indonesia (IEA).....	5
Tabel 1. 5 Data Produksi Hidrogen di Dunia	6
Tabel 1. 6 Keunggulan dan Kekurangan Proses Produksi Hidrogen	9
Tabel 3. 1 Spesifikasi Tangki Liquid	22
Tabel 3. 2 Spesifikasi Tangki Gas.....	23
Tabel 3. 3 Spesifikasi Reaktor	24
Tabel 3. 4 Spesifikasi Pompa	25
Tabel 3. 5 Spesifikasi Heater	26
Tabel 3. 6 Spesifikasi Tangki Silika	27
Tabel 3. 7 Spesifikasi Cooler-01	28
Tabel 3. 8 Spesifikasi Cooler-02.....	29
Tabel 3. 9 Spesifikasi Cooler-03	29
Tabel 3. 10 Spesifikasi Cooler-04.....	30
Tabel 3. 11 Spesifikasi Kompresor	31
Tabel 3. 12 Spesifikasi Tangki KOH	32
Tabel 3. 13 Spesifikasi Mixer	33
Tabel 3. 14 Neraca Massa Total Pabrik	34
Tabel 3. 15 Neraca Massa di R-01	34
Tabel 3. 16 Neraca Massa di TS-01	34
Tabel 3. 17 Neraca Massa di TS-02	35
Tabel 3. 18 Neraca Panas R-01	35
Tabel 3. 19 Neraca Panas H-01	35
Tabel 3. 20 Neraca Panas CL-01.....	36
Tabel 3. 21 Neraca Panas CL-02.....	36
Tabel 3. 22 Neraca Panas CL-02.....	36
Tabel 3. 23 Neraca Panas CL-02.....	37
Tabel 4. 1 Perincian Luas Tanah.....	41
Tabel 4. 2 Jadwal Kerja Karyawan Shift	55
Tabel 4. 3 Penggolongan Karyawan dan Tingkat Pendidikan	56
Tabel 4. 4 Gaji Karyawan	58
Tabel 5. 1 Kebutuhan listrik alat	70
Tabel 5. 2 Spesifikasi Pompa	76

Tabel 6. 1 Indeks Harga	79
Tabel 6. 2 Physical Plant Cost (PPC).....	81
Tabel 6. 3 Direct Plant Cost (DPC).....	82
Tabel 6. 4 Fixed Capital Investmen (FCI)	82
Tabel 6. 5 Working Capital Investment (WCI).....	83
Tabel 6. 6 Manufacturing Cost	84
Tabel 6. 7 Indirect Manufacturing Cost	84
Tabel 6. 8 Fixed Manufacturing Cost	85
Tabel 6. 9 Manufacturing Cost (MC).....	85
Tabel 6. 10 General Expense	86
Tabel 6. 11 Production Cost.....	86
Tabel 6. 12 fixed cost (Fa)	88
Tabel 6. 13 Regulated Cost (Ra)	89
Tabel 6. 14 Variable Cost (Va)	89
Tabel 6. 15 Sales Price	89
Tabel 6. 16 Kesimpulan Evaluasi Ekonomi	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Estimasi Impor Hidrogen.....	3
Gambar 1. 2 Grafik Estimasi Ekspor Hidrogen	4
Gambar 1. 3 Grafik Estimasi Konsumsi Hidrogen	5
Gambar 1. 4 Grafik Estimasi Produksi Hidrogen	6
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif.....	17
Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif.....	18
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Pabrik.....	38
Gambar 4. 2 Gambar Tata Letak.....	43
Gambar 4. 3 Tata Letak Alat Proses	45
Gambar 4. 4 Struktur Organisasi.....	48
Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas.....	65
Gambar 6. 1 Tahun dan Harga Indeks	80
Gambar 6. 2 Grafik Analisis Ekonomi.....	92

ABSTRAK

Pembangunan pabrik Hidrogen dengan kapasitas 20.000 ton/tahun bertujuan untuk memenuhi cadangan bahan bakar yang diperlukan dalam negeri pada masa yang akan datang. Pabrik ini didirikan di Jatigede, Sumedang, Jawa Barat. Hidrogen diproduksi dengan bahan baku air dari sungai yang diolah terlebih dahulu sampai menjadi air murni sebelum menuju tangki. Air murni pada tangki dialirkan menuju reaktor elektrolisis berfungsi untuk memisahkan cairan menjadi fasa gas dengan bantuan katalis KOH sebagai elektrolit dimana ion K^+ sebagai katoda yang membantu proses hidrogen dan ion OH^- sebagai anoda untuk proses oksigen. Hidrogen yang terpisah seutuhnya dialirkan menuju tangki silika yang bertujuan untuk menyerap kelembapan uap air yang terangkut oleh Hidrogen. Hidrogen yang sudah menjadi gas akan dinaikkan tekanannya menggunakan kompresor dan memiliki resiko penurunan volume seiring jalan pada kenaikan tekanan sampai mencapai titik ideal. Hidrogen yang sudah memenuhi syarat untuk titik ideal, siap dipindahkan ke tangki penyimpanan produk untuk didistribusikan secara komersial. Bahan baku air yang dibutuhkan sebesar 27.261,6799 kg/jam untuk menghasilkan kapasitas *Hidrogen* 20.000 ton/tahun. Kebutuhan utilitas air pada pabrik ini sebesar 65.452,632 kg/jam dengan penggunaan *Cooling water*: 4.724,035 kg/jam; *Steam water*: 34.719,47 kg/jam; Air Domestik: 450 kg/jam. Berdasarkan evaluasi ekonomi pabrik hidrogen didapatkan hasil seperti Return of Investment sebelum pajak 15,23% dan sesudah pajak 11,42%, Pay Out Time sebelum pajak 4,31 tahun, dan sesudah pajak 5,15 tahun, Break Event Point 44,52%, Shut Down Point 8,09%, dan Discounted Cash Flow Rate of Return 8,94%.

Kata kunci: Hidrogen, Elektrolisis air, Air.

ABSTRACT

The construction of a hydrogen plant with a production capacity of 20,000 tons per year aims to meet the country's future fuel reserve requirements. The plant is planned to be located in Jatigede, Sumedang, West Java, Indonesia. Hydrogen is produced with raw water from rivers that are first processed until it becomes pure water before being sent to the tank. The pure water in the tank is flowed through an electrolysis reactor to separate the liquid into a gas phase with the help of a KOH catalyst as an electrolyte where K^+ ions act as cathodes that help the hydrogen process and OH^- ions act as anodes for the oxygen process. The completely separated hydrogen is flowed into a silica tank that aims to absorb the moisture of the air vapor transported by the Hydrogen. Hydrogen that has become gas will build up pressure using a compressor and has the risk of decreasing volume as the pressure increases until it reaches the ideal point. Hydrogen that has met the conditions to the ideal point is ready to be transferred to the product storage tank for commercial distribution. The raw water required is 27,261.6799 kg/hour to produce a Hydrogen capacity of 20,000 tons/year. The air utility requirement in this plant is 65,452.632 kg/hour with the use of Cooling water: 4,724.035 kg/hour; Water vapor: 34,719.47 kg/hour; Domestic Air: 450 kg/hour. Based on the economic evaluation of the hydrogen plant, the results obtained include a Return on Investment before tax of 15.23% and after tax of 11.42%, a Pay Out Time before tax of 4.31 years and after tax of 5.15 years, a Break Event Point of 44.52%, a Shut Down Point of 8.09%, and a Discounted Cash Flow Rate of Return of 8.94%.

Keyword: Hydrogen, Water Electrolysis, Water.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

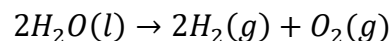
Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki populasi penduduk terbanyak keempat di dunia dan juga merupakan negara berkembang. Indonesia juga memiliki pembangunan di berbagai sektor, salah satunya adalah industri kimia. Perkembangan industri kimia di Indonesia telah mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Hal ini tampak dengan bertambahnya jumlah pabrik kimia di Indonesia. Dengan perkembangan industri ini diharapkan dapat membantu masyarakat dalam meningkatkan kebutuhan dan pertumbuhan ekonomi.

Dunia sekarang sedang diperhadapkan pada permasalahan sangat rumit, yaitu berkurangnya cadangan bahan bakar berbasis fosil, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas. Energi merupakan salah satu komponen yang sangat penting bagi kehidupan manusia, karena segala aktivitas manusia relatif bergantung pada kesediaan energi yang cukup. Hidrogen merupakan bahan bakar yang telah diakui banyak negara sebagai vektor energi alternatif di masa depan untuk mencapai *Net Zero Emission*. Kepadatan massa energinya yang tinggi kemungkinan memperoleh hidrogen dari banyak sumber, efisiensi tinggi yang energinya diekstraksi dalam sel bahan bakar dan diubah menjadi listrik, dan fakta bahwa penggunaannya tidak menghasilkan emisi berbahaya, menjadikan hidrogen sebagai bahan bakar masa depan yang berkelanjutan (A.M. Fernández dan U. Cano, 2012).

Kebutuhan hidrogen cukup besar setiap tahunnya, hal ini berdasarkan data impor hidrogen yang tertera pada data Badan Pusat Statistik (BPS). Gas hidrogen (H_2) dapat diperoleh salah satunya dengan metode elektrolisis air. Pemisahan gas hidrogen (H_2) dari molekul air dengan cara memasukkan arus

listrik dengan besaran yang sesuai sehingga gas oksigen dan hidrogen dapat terpisahkan. Air dapat berupa air tawar dan air asin (air laut) yang merupakan bagian terbesar di bumi.

Elektrolisis air adalah suatu proses penguraian molekul air (H_2O) menjadi Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2) dengan energi pemicu reaksi berupa energi listrik. Proses ini dapat berlangsung ketika dua buah elektroda ditempatkan dalam air kemudian arus searah dilewatkan diantara dua elektroda tersebut. Hidrogen terbentuk pada katoda sementara oksigen pada anoda (E. Marlina dkk, 2013). Proses elektrolisis berjalan sangat lambat sehingga perlu diupayakan cara-cara untuk meningkatkan efisiensi produk, misalnya dengan penambahan zat terlarut yang bersifat elektrolit zat terlarut tersebut misalnya garam (Fazlunnazar M dkk, 2020). Berikut reaksi keseluruhan yang setara dari elektrolisis air:



Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda serta bisa dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menciptakan hidrogen dan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hydrogen (A. Fauziah dkk, 2019).

1.2 Kapasitas

Pada pendirian pabrik hidrogen berbahan baku air, umumnya penentuan kapasitas pabrik ditentukan dengan analisis ketersediaan dan kebutuhan (*supply and demand*). Untuk penentuan kapasitas pabrik hidrogen yang akan dibangun di Indonesia pada tahun 2030, dilakukan dengan menggunakan nilai rata-rata pertumbuhan dengan persamaan sebagai berikut:

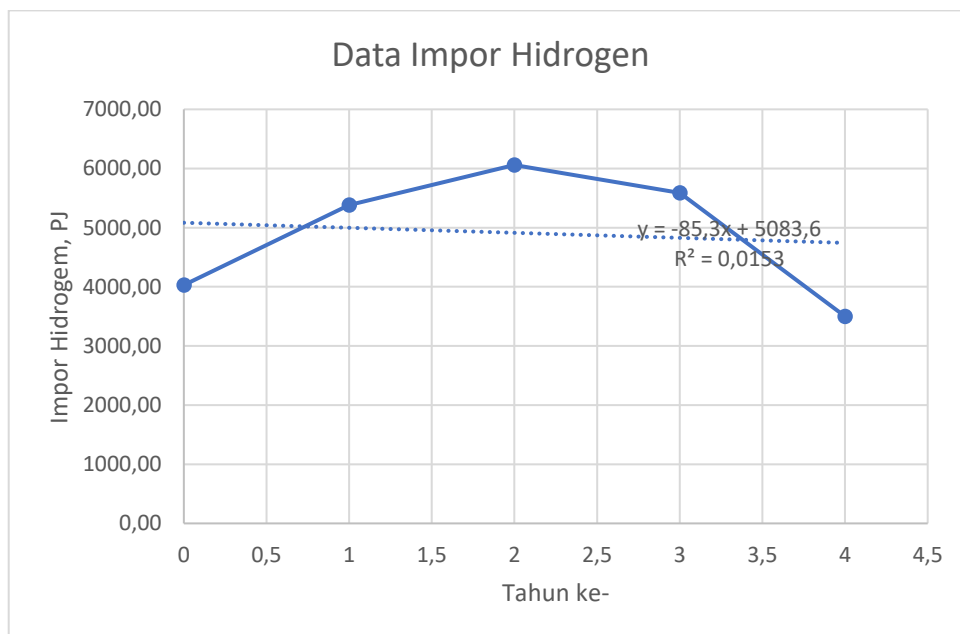
$$\%pertumbuhan = \frac{(konsumsi\ tahun\ n - konsumsi\ tahun\ n - 1)}{konsumsi\ tahun\ n - 1} \times 100$$

(Peter & Timmerhaus, 2003)

Untuk data impor, menggunakan nilai dari IEA:

Tabel 1. 1 Data Impor Hidrogen di Indonesia (IEA)

Tahun	Impor (TJ/tahun)
2017	4030
2018	5385
2019	6059
2020	5590
2021	3501



Gambar 1. 1 Grafik Estimasi Impor Hidrogen

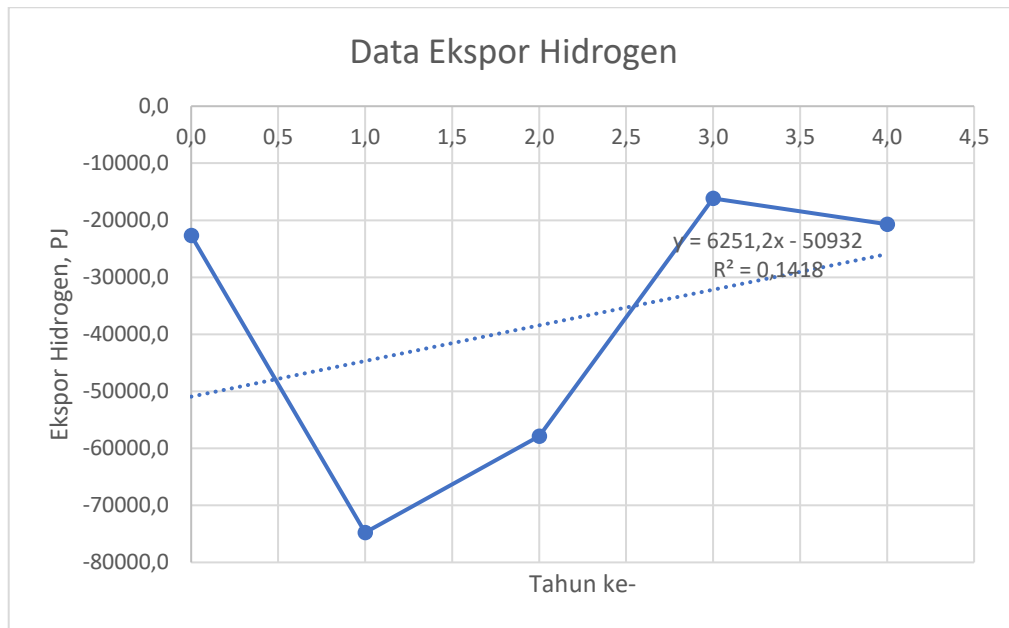
Dengan menggunakan persamaan tersebut, dapat diperkirakan bahwa impor hidrogen pada tahun 2030 sebesar 4230,6 TJ.

Untuk data ekspor dari IEA:

Tabel 1. 2 Data ekspor Hidrogen di Indonesia (IEA)

Tahun	Ekspor (TJ/tahun)
2017	-22661

2018	-74768
2019	-57842
2020	-16174
2021	-20702



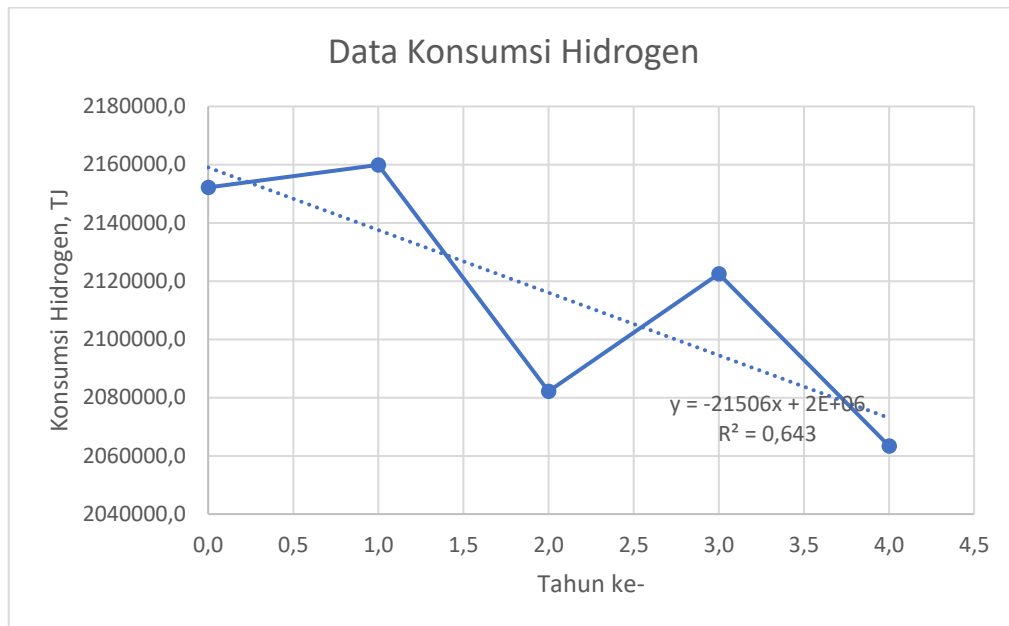
Gambar 1. 2 Grafik Estimasi Ekspor Hidrogen

Dengan menggunakan persamaan tersebut, dapat diperkirakan bahwa ekspor hidrogen tahun 2030 sebesar 11.580 TJ.

Untuk data konsumsi dari IEA:

Tabel 1. 3 Data Konsumsi Hidrogen di Indonesia (IEA)

Tahun	Konsumsi (TJ/tahun)
2017	2152218
2018	2159923
2019	2082175
2020	2122479
2021	2063410



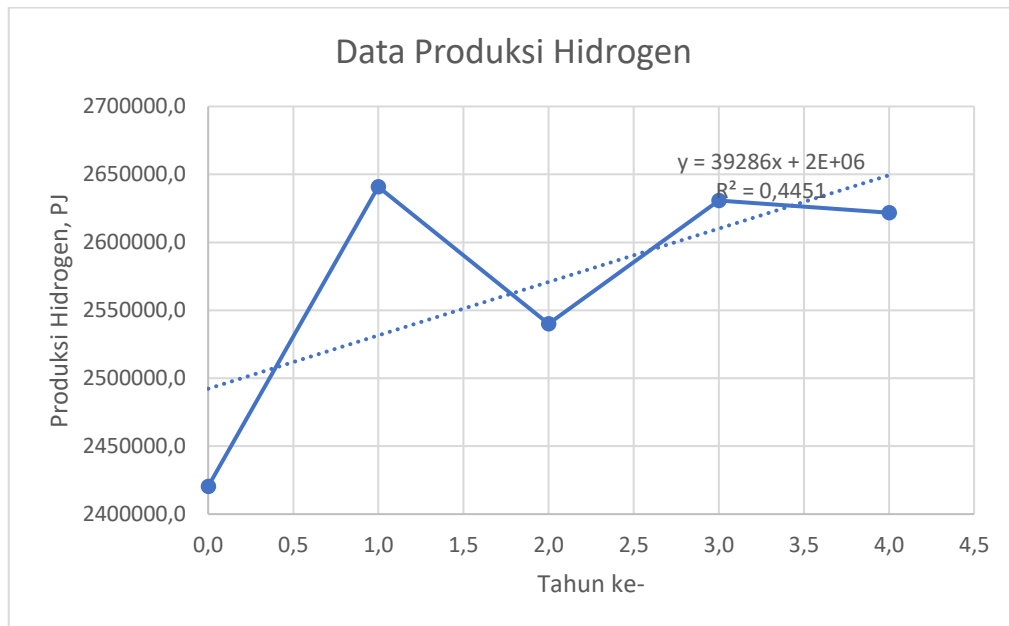
Gambar 1. 3 Grafik Estimasi Konsumsi Hidrogen

Dengan menggunakan persamaan tersebut, dapat diperkirakan bahwa konsumsi hidrogen tahun 2030 sebesar 1.784.940 TJ.

Untuk data produksi dari IEA:

Tabel 1. 4 Data Produksi Hidrogen di Indonesia (IEA)

Tahun	Produksi (TJ/tahun)
2017	2420396
2018	2640866
2019	2540168
2020	2630781
2021	2621868



Gambar 1. 4 Grafik Estimasi Produksi Hidrogen

Dengan menggunakan persamaan tersebut, dapat diperkirakan bahwa produksi hidrogen tahun 2030 sebesar 2.392.860 TJ.

Kapasitas pabrik dapat dihitung dengan cara:

$$\begin{aligned}
 &= (\text{konsumsi} + \text{ekspor}) - (\text{produksi} + \text{impor}) \\
 &= (1784940 + 11580) - (2392860 + 4230) \\
 &= -600.571 \text{ TJ/tahun}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan kapasitas yang didapatkan menunjukkan hasil minus, maka penentuan kapasitas menggunakan perbandingan pabrik yang sudah dibangun.

Tabel 1. 5 Data Produksi Hidrogen di Dunia

Perusahaan	Negara	Kapasitas (ton/tahun)
Linde plc	United States	10,950
Air Liquide	United States	10,950
Sinopec	China	20,000
Shell plc	Germany	1,300

Shanghai Huaxi Chemical Industry Science & Technology Co.,Ltd	China	11,022
BorsodChem MCHZ	Republik Cheko	4,724
Dalian West Pasific Petrochemical Co.,Ltd	China	47,240

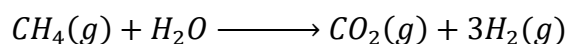
Kapasitas pabrik yang akan digunakan adalah 20.000 ton/tahun dikarenakan kapasitas tersebut berada direntang kapasitas pendirian pabrik yang sudah ada berkisaran antara 1.300 sampai 47.240 ton/tahun.

1.3 Tinjauan Pustaka

Hidrogen dapat diproduksi dengan berbagai macam metode, diantaranya yaitu:

1.3.1 *Steam Reforming*

Proses ini menggunakan gas alam dan *steam*. Proses ini banyak digunakan tetapi memiliki kendala pada ketersediaan gas alam. Reaksi yang bersifat endotermis memerlukan panas yang besar sekitar 206 kJ/mol. H₂ yang dipisahkan dari karbon dioksida dengan menggunakan proses *shift converter* dan *pressure swing adsorption*. Kondisi operasi proses *steam reforming* pada suhu $\pm 850^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 24-29 atm (Siti Alimah dan Djati Hoesen Salimy, 2015).

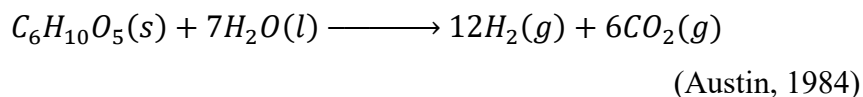


(Austin, 1984)

1.3.2 *Biological Process*

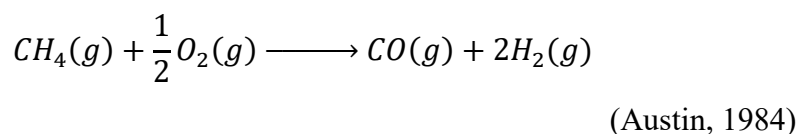
Proses ini merupakan proses hidrogen yang diproduksi melalui metode fermentasi dari biomassa yang berasal dari limbah. Mikroorganisme yang membantu dalam proses ini antara lain seperti *Clostridium*, *Pyrococcus*, dan sebagainya. Kondisi operasi pada proses biologi adalah pada suhu $30^{\circ}\text{--}80^{\circ}\text{C}$ pada tekanan 1 atm. Metode fermentasi hidrogen memiliki kekurangan karena

bahan baku bersaing dengan bahan pangan. Konversi yang dihasilkan begitu kecil kisaran 10%-20% dan harga mikroorganisme yang mahal.



1.3.3 Partial Oxidation

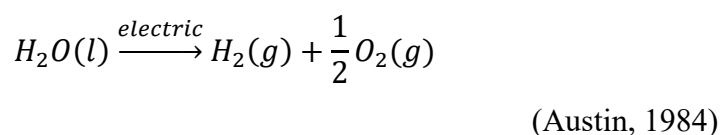
Proses ini lebih ekonomis daripada *steam reforming*. Oksidasi parsial merupakan proses eksotermis yang mengeluarkan panas. Prosesnya jauh lebih cepat daripada *steam reforming* dan membutuhkan bejana reaktor yang lebih kecil. Kondisi operasi pada suhu 700°-900°C dan tekanan 3-25 atm. Bahan bakunya berupa gas alam dan *fuel oil* tersedia sedikit dan setiap tahun semakin menipis dari 9.61 miliar barel menjadi 8 miliar barel pada tahun 2009 (ESDM).



1.3.4 Elektrolisis Air

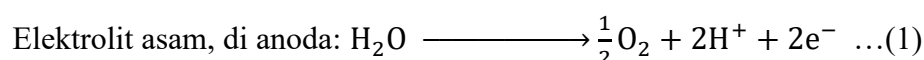
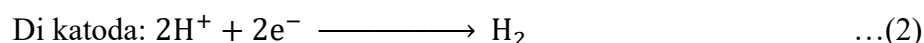
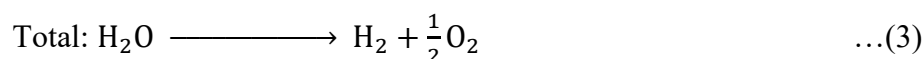
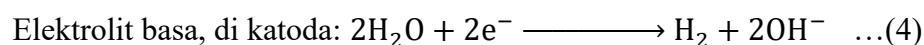
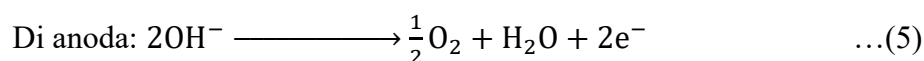
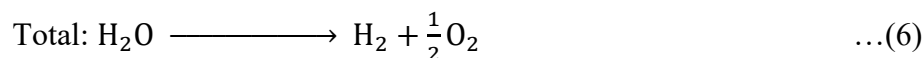
Hidrogen dapat diproduksi dengan menggunakan metode elektrolisis air. Produksi hidrogen dengan proses ini menggunakan bahan baku air murni sebagai bahan baku utamanya dan dengan bantuan energi listrik untuk menjalankan reaksinya. Elektrolisis air merupakan proses penguraian air menjadi gas hidrogen dan gas oksigen. Metode ini menggunakan elektroda katoda dan anoda sebagai penghantar listrik dan Diafragm/Membrane sebagai pemisahannya. Proses ini menggunakan elektrolit sebagai katalis listrik pada air KOH ataupun NaOH sebagai elektrolitnya (Frank Gombou et al., 2022).

Proses ini membutuhkan energi listrik yang besar dengan kisaran 2 - 3.08 volt, maka membutuhkan energi dengan skala besar.



Elektrolisis air menghasilkan satu mol gas hidrogen dan setengah mol oksigen dalam bentuk diatomik, jika dirasionalkan volumenya yaitu 2:1. Proses ini dapat berjalan pada kondisi suhu sekitar 40°-80°C dengan tekanan *ambient* (tekanan sekitar). Beda potensial yang dihasilkan arus listrik antara anoda dan katoda akan mengionisasi molekul air menjadi ion positif dan ion negatif.

Reaksi total elektrolisis air adalah penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen. Bergantung pada jenis elektrolit yang digunakan, reaksi setengah sel untuk elektrolit asam atau basa dituliskan dalam dua cara yang berbeda.



Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dilakukan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat dimanfaatkan. Dengan menyediakan energi dari listrik, air (H₂O) dapat dipisahkan ke dalam molekul diatomik hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂).

Tabel 1. 6 Keunggulan dan Kekurangan Proses Produksi Hidrogen

Proses	Keunggulan	Kekurangan
<i>Steam reforming</i>	Menghasilkan produk samping yang berupa CO ₂ , CO, dan gas yang bernilai untuk beberapa bahan baku.	Ketergantungannya terhadap gas alam serta menghasilkan CO ₂ sebagai gas efek rumah kaca.
<i>Biological process</i>	Ramah lingkungan dalam pembuatannya.	Tidak cocok untuk skala besar. Karena perlakuan mikroorganisme yang mahal

		serta menghasilkan gas rumah kaca (CO ₂).
<i>Partial oxidation</i>	Lebih ekonomis dibanding <i>steam reforming</i> .	Katalis yang digunakan mahal harganya.
Elektrolisis air	Sangat ramah lingkungan, kondisi operasi relatif tidak tinggi.	Tidak cocok untuk skala besar. Karena membutuhkan energi listrik yang besar.

Dari metode-metode pembuatan hidrogen, maka proses elektrolisis air yang akan digunakan sebagai metode proses pembuatan hidrogen dalam pendirian pabrik. Pemilihan proses elektrolisis air karena:

1. Hidrogen yang dihasilkan memiliki kemurnian yang sangat tinggi.
2. Kondisi operasi pada suhu relatif tidak tinggi dan tekanan atmosferis, sehingga penanganannya mudah.
3. Tidak menghasilkan gas CO₂ selama reaksi berlangsung.
4. Bahan baku melimpah dan bersifat gratis.
5. Ketersediaan energi listrik terbarukan memungkinkan berdirinya proses ini dalam skala industri.

1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

1.4.1 Tinjauan Kinetika

Untuk memecah air menjadi hidrogen dan oksigen dengan kecepatan yang sesuai, tegangan sel U yang diterapkan pada sel elektrolisis harus jauh lebih besar daripada tegangan kesetimbangan termodinamika untuk mendapatkan kerapatan arus yang signifikan, meningkatkan produktivitas spesifik, dan mengurangi biaya modal. Rugi-rugi ohmik pada elektroda dan kabel juga meningkatkan resistansi total. Ketika batasan difusi tidak mendominasi, untuk proses elektrokimia pendekatan kinetika formal dan persamaan Arrhenius yang terkenal dapat digunakan. Namun energi aktivasi reaksi elektrokimia sangat bergantung pada potensial elektroda. Kecepatan reaksi elektrokimia pada antarmuka elektroda/elektrolit dalam satuan arus dijelaskan (menurut

teori transfer muatan Butler-Volmer) dengan persamaan yang agak mirip dengan persamaan Arrhenius yang disebutkan:

$$i = i_0 \exp\left(\frac{\alpha n F \eta}{RT}\right)$$

atau

$$i = i_0 \left\{ \exp\left[\frac{\beta n F}{R T} \eta\right] - \exp\left[-\frac{(1 - \beta) n F}{R T} \eta\right] \right\}$$

Dimana:

i_0 = rapat arus

α = koefisien transfer

β = faktor simetri

n = jumlah elektron

F = konstanta Faraday

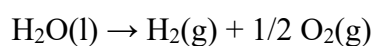
R = konstanta gas sempurna

T = suhu absolut dalam Kelvin.

Menurut Persamaan di atas, parameter kinetik utama yang menentukan efisiensi proses transfer muatan adalah rapat arus pertukaran i_0 , yang merupakan sifat fisik intensif. Semakin tinggi rapat arus, semakin reversibel reaksinya dan semakin efisien proses perpindahan muatannya. Elektrokatalis terbaik adalah yang memiliki rapat arus pertukaran lebih tinggi untuk reaksi setengah sel yang diinginkan. Kepadatan arus pertukaran dinyatakan per satuan permukaan antarmuka elektroda/elektrolit geometris. Perlu dicatat bahwa kepadatan arus pertukaran yang nyata dapat ditingkatkan dengan mengembangkan antarmuka kasar (tiga dimensi).

1.4.2 Tinjauan Termodinamika

Cairan air dapat dipisahkan menjadi komponen-komponen unurnya (molekul hidrogen dan oksigen), seperti:



Dalam kondisi suhu dan tekanan standar ($T^\circ = 298 \text{ K}$, $P^\circ = 1 \text{ bar}$), air berbentuk cair dan H_2 serta O_2 berbentuk gas. Perubahan standar energi entalpi, entropi, dan bebas (Gibbs) untuk reaksi diatas adalah:

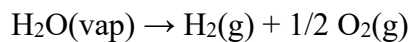
$$\Delta H_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) = +285.840 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta S_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) = +163.15 \frac{\text{J}}{\text{mol.k}}$$

$$\Delta G_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) = \Delta H_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) - T \cdot \Delta S_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) = +237.22 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Meskipun kontribusi entropis menguntungkan karena pembentukan 1.5 mol spesies gas, perubahan entalpinya sangat endotermik sehingga menghasilkan perubahan energi bebas Gibbs yang positif dan reaksinya tidak spontan.

Uap air juga dapat dipisahkan menjadi gas hidrogen dan oksigen, seperti:



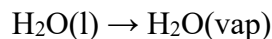
Perubahan standar energi entalpi, entropi, dan bebas (Gibbs) untuk reaksi diatas adalah:

$$\Delta H_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{vap})) = +241.80 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta S_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) = +44.10 \frac{\text{J}}{\text{mol.k}}$$

$$\Delta G_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) = \Delta H_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) - T \cdot \Delta S_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) = +228.66 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$\Delta H_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) - \Delta H_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{vap})) = +44.04 \text{ kJ/mol}$ adalah selisih perubahan entalpi akibat penguapan air pada kondisi standar, dari reaksi dibawah:



$\Delta S_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) - \Delta S_d^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{vap})) = +119.05 \text{ J/mol.k}$ adalah selisih perubahan entropi akibat penguapan air.

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

A. Hidrogen

- Rumus Molekul : H_2
- Fasa : gas
- Berat Molekul : 2,0158 g/mol
- Titik didih : $-252,87\text{ }^{\circ}C$
- Densitas : 0,0824 Kg/m³
- Suhu Kritis : 33,3 K
- Tekanan Kritis : 12,8 atm
- Kemurnian : 99%

(Sumber: *Perry*, 1984)

B. Oksigen

- Rumus Molekul : O_2
- Fasa : gas
- Berat Molekul : 32 g/mol
- Titik didih : $-182,95\text{ }^{\circ}C$
- Densitas : 1,3985 Kg/m³
- Suhu Kritis : 154,4 K
- Tekanan Kritis : 49,7 atm
- Kemurnian : 99,6%

(Sumber: *Perry*, 1984)

2.2 Spesifikasi Bahan Baku

A. Air

- Rumus Molekul : H_2O
- Fasa : Cair
- Berat Molekul : 18,015 g/mol
- Titik didih (1 atm) : $100\text{ }^{\circ}C$

- Titik beku (1 atm) : 0 °C
- Densitas : 996,7087 kg/m³
- Suhu Kritis : 647,3 K
- Tekanan Kritis : 218,2 atm
- Kapasitas Panas : 4,22 Kj/Kg.K
- Kemurnian : 99,75

(Sumber: *Perry*, 1984)

2.3 Spesifikasi Bahan Pembantu

A. Katalisator (Kalium Hidroksida)

- Rumus Molekul : KOH
- Fasa : Larutan KOH
- Berat Molekul : 56,1 g/mol
- Titik Beku : -5°C
- Titik Didih : 138°C
- Viskositas : 5,0

2.4 Pengendalian Kualitas

Kualitas merupakan salah satu daya tarik konsumen terhadap suatu produk. Mempertahankan mutu suatu produk merupakan salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam perusahaan. Pengendalian kualitas pada pabrik ini meliputi pengendalian kualitas bahan baku, pengendalian kualitas proses, dan pengendalian kualitas produk.

2.4.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku bertujuan untuk mengetahui kualitas bahan baku. Sebagian besar kualitas akhir dari suatu produk akan ditentukan oleh bahan baku yang akan dipakai, maka perlu adanya pengendalian kualitas terhadap bahan baku dengan lebih teliti dan teratur. Sebelum produksi, dilakukan pengujian terhadap kualitas bahan baku seperti kandungan dan

kemurniannya. Apabila tidak sesuai dengan yang diinginkan, maka kemungkinan bahan baku tersebut diganti.

2.4.2 Pengendalian Kualitas Produksi

Pengendalian ini dilakukan untuk menjaga kualitas produk yang akan dihasilkan, maka harus dilakukan dari awal bahan baku sampai menjadi produk. Pengendalian dan pengawasan terhadap proses produksi dilakukan dengan alat pengendali yang berpusat di *control room* dengan fitur otomatis untuk menjaga proses berjalan dengan baik dan kualitas produk seragam. Berikut beberapa alat kontrol terhadap kondisi operasi baik suhu maupun tekanan, antara lain:

1. *Level Controller*, berfungsi sebagai pengendalian volume cairan tangki/*vessel*. Alat ini dipasang pada bagian dinding tangki.
2. *Flow Rate Controller*, berfungsi untuk mengatur aliran, baik itu aliran masuk maupun aliran keluar proses.
3. *Temperature Controller*, alat ini mempunyai batasan nilai suhu yang dapat diatur. Ketika nilai aktual suhu melebihi nilai batas yang diatur maka outputnya akan bekerja.
4. *Pressure Controller*, berfungsi untuk mengatur tekanan agar tidak berubah.

Selain itu, pengendalian waktu produksi juga harus diperhatikan agar mengefisienkan waktu yang digunakan selama proses berlangsung.

2.4.3 Pengendalian Kualitas Produk

Untuk mempertahankan dan menjaga kualitas mutu produk agar sesuai dengan standar yang diinginkan konsumen, maka perlu dilakukan:

1. Menjaga kualitas produk dari segi kadar produk dengan minimum 99,9% sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan pasar. Performan fisik seperti bau, warna, kemasan, dan lain-lain. Menjaga kebersihan produk baik saat proses maupun pasca proses.

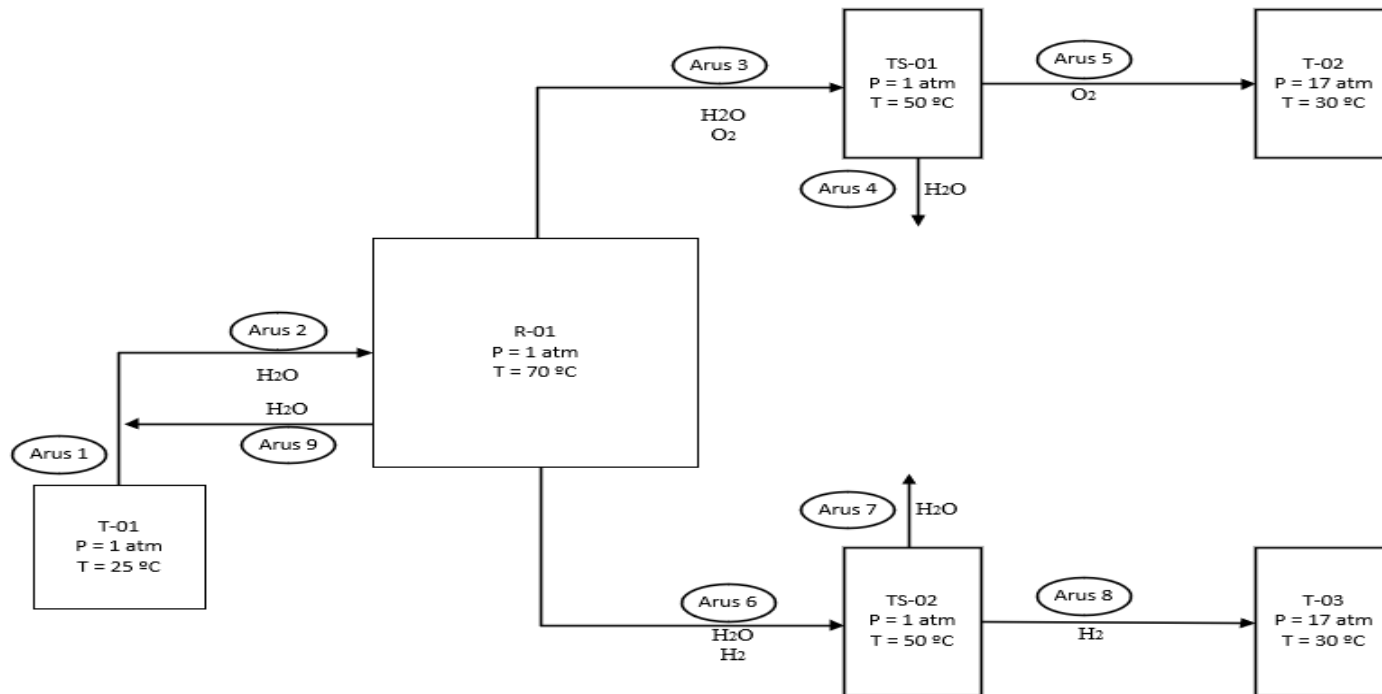
2. Melakukan pengendalian mutu sesuai radar ISO 9001 maupun ISO 14001 baik dari segi proses maupun dampak terhadap lingkungan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara:
 - a. Uji Laboratorium produk setiap hari.
 - b. Uji produk secara berkala sesuai peraturan standar mutu yang berlaku.
 - c. Melakukan survei terhadap konsumen.
3. Memastikan semua peralatan bekerja sesuai dengan fungsinya sehingga dapat diperoleh produk yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

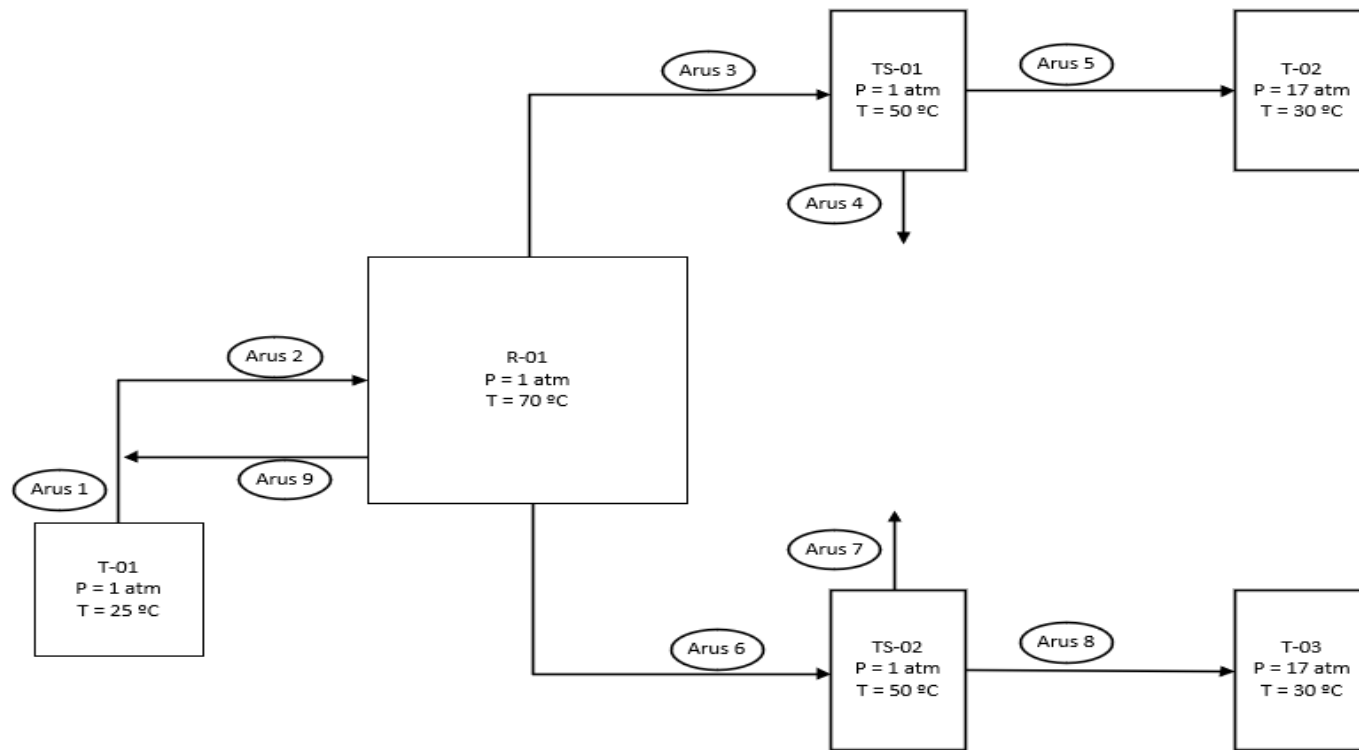
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif

3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif

senyawa	Arus								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H ₂ O	27.261,68	34.719,05	1.564,77	1.564,77	0,00	3.129,53	3.129,53	0,00	7.457,38
H ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.525,25	0,00	131,03	0,00

O2	0,00	0,00	20.042,13	0,00	20.042,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	27.261,68	34.719,05	21.606,90	1.564,77	20.042,13	5.654,78	3.129,53	2.525,25	7.457,38

3.2 Uraian Proses

Prarancangan pabrik Hidrogen ini diproduksi dengan kapasitas sebesar 20.000 ton/tahun menggunakan bahan baku Air dari sungai dengan memurnikan bahan baku sampai air yang ideal untuk digunakan dan dipisahkan bahan tersebut dengan bantuan katode dan anode. Sehingga proses yang digunakan prarancangan pabrik ini menggunakan metode elektrolisis. Proses pabrik untuk menghasilkan Hidrogen. akan beroperasi selama 24 jam perhari dalam 330 hari selama 1 tahun.

Proses yang terjadi dapat dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu:

1. Persiapan Bahan Baku
2. Proses pembuatan produk
3. Proses pemisahan dan pemurnian produk.

3.2.1 Persiapan Bahan Baku

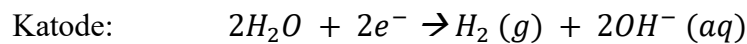
Sebelum proses produksi Hidrogen dilakukan, tahap awal yang diperlukan adalah mengidentifikasi ketersediaan air sungai yang ada di Indonesia. Setelah menemukan sumber air sungai, dapat melanjutkan prosesnya melalui pemurnian air atau disebut sebagai Utilitas. Proses ini bertujuan untuk mengolah air sungai tersebut menjadi air yang layak untuk digunakan sebagai bahan baku.

3.2.2 Proses Pembuatan Produk

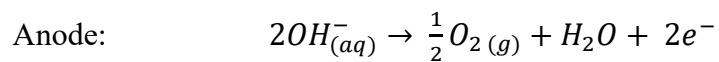
Pada pembuatan produk Hidrogen, dibutuhkan metode *water electrolysis* pada reaktor dengan bantuan katalis Kalium Hidroksida dimana metode tersebut memisahkan air murni menjadi larutan hidrogen. Proses pada reaktor, kalium hidroksida digunakan sebagai elektrolit dengan ion OH⁻ sebagai anode dan ion K⁺ sebagai katode untuk mengalirkan proses elektrolisis dalam pembentukan Hidrogen, dimana Hidrogen sebagai katode.

Selain itu tipe pembuatan hidrogen menggunakan tipe *Alkaline Electrolysis Water* dimana fasa cair akan mengubah bentuk menjadi energi kimia. Mula-mula

air tersebut dialirkan menuju reaktor untuk mengaktivasi katalis yang terdapat pada reaktor yang kemudian KOH akan dilarutkan ke dalam air murni. Di dalam air, katalis KOH langsung terurai secara sempurna menjadi ion bebas dan terjadi pembentukan reaksi diantara katode dan anode. Untuk katode sendiri terbentuk gas Hidrogen yang dimana mengalami reaksi penangkapan elektron sedangkan anode mengalami pelepasan elektron.



Elektron dari katoda akan memecah molekul air, dengan mengikat atom hidrogen menjadi gas H₂ berupa gelembung gas dan OH⁻ akan dilepaskan ke dalam larutan.



OH⁻ yang terjadi di katode akan berpindah ke Anode dan mengalami reaksi pelepasan elektron dengan menghasilkan gas Oksigen berupa gelembung gas dan sisanya membentuk kembali molekul air. Hidrogen dan oksigen ini akan dialirkan menuju pipa khusus agar tidak terjadi campuran lagi karena sangat mudah meledak jika terkena percikan api.

3.2.3 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk

Produk hidrogen yang terpisahkan dari reaktor akan dialirkan menuju tangki silika yang berfungsi sebagai pengendapan padatan (kotoran) yang masih terikat pada produk hidrogen. Hidrogen yang telah menjadi gas sepenuhnya kemudian dialirkan ke kompressor dengan bantuan Cooler. Kompessor berfungsi sebagai meningkatkan tekanan gas namun menurunkan volume pada hidrogen seiring waktu dengan peningkatan tekanan sampai ke titik ideal. Setelah hidrogen mencapai kondisi tekanan dan volume yang ideal, hidrogen tersebut siap dipindahkan di tangki penyimpanan untuk didistribusikan produk secara komersial.

3.3 Spesifikasi Alat Proses

3.3.1 Tangki

Spesifikasi tangki proses dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2 di bawah ini:

Tabel 3. 1 Spesifikasi Tangki Liquid

Kode	T-01
Fungsi Tangki	Menyimpan bahan H ₂ O
Tipe	Tangki silinder tegak dengan dasar flat bottom dan atap berbentuk Supported Cone Roof
Lama Penyimpanan	7 hari
Fasa	Cair
Jumlah Tangki	1
Kondisi Operasi	Suhu = 30 °C
	Tekanan = 1 atm
Spesifikasi	Bahan konstruksi <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
	Volume tangki: 22071,6698 m ³
	Diameter: 54,864 m
	Tinggi: 9,961 m
	Course Plate: 5
Head and Bottom	Jenis Head: Supported Cone Roof
	Tebal Head: 0,375 in
	Jenis bottom: -
	Tebal bottom: 0,3125 in

Tabel 3. 2 Spesifikasi Tangki Gas

Kode	T-02	T-03
Fungsi Tangki	Menyimpan Produk Hidrogen	Menyimpan Produk Oksigen
Tipe	Tangki Horizontal Pressure Vessel dengan Hemispherical Head	Tangki Horizontal Pressure Vessel dengan Hemispherical Head
Lama Penyimpanan	7 hari	7 hari
Fasa	Gas	Gas
Jumlah Tangki	12	30
Kondisi Operasi	Suhu = 30 °C	Suhu = 30 °C
	Tekanan = 400 atm	Tekanan = 6 atm
Spesifikasi	Bahan konstruksi <i>Stainless Steel 316L (ASTM A240 Type 316L)</i>	Bahan konstruksi <i>Stainless Steel 316L (ASTM A240 Type 316L)</i>
	Volume tangki: 66501,5053 m ³	Volume tangki: 2221164,01 m ³
	Diameter tangki: 26,2816 m	Diameter tangki: 84,6385 m
	Panjang silinder tangki: 105,1264 m	Panjang silinder tangki: 338,5541 m
	Tinggi Total Tangki : 131,4080 m	Tinggi Total Tangki : 431,1926 m
Head and Bottom	Jenis Head: Hemispherical Head	Jenis Head: Hemispherical Head
	Tebal Head: 335 mm	Tebal Head: 4,38 mm

	Jenis Bottom: Hemispherical Head	Jenis Bottom: Hemispherical Head
	Tebal bottom: 132 mm	Tebal bottom: 2,2 mm

3.3.2 Reaktor

Spesifikasi reaktor yang digunakan pada pabrik ini dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini:

Tabel 3. 3 Spesifikasi Reaktor

Spesifikasi Reaktor	
Kode	R-01
Fungsi	Memisahkan komponen fase cair (H ₂ O) menjadi Gas (H ₂ dan O ₂) dengan menyisakan cair
Tipe	Sel Diafragma
Fasa	Cair - Gas
Kondisi Operasi	
Suhu	70 °C
Tekanan	1 atm
Spesifikasi Khusus	
Jenis Reaktor	<i>Alkaline Water Electrolysis</i>
Bahan Konstruksi	Polyvinyl Chloride (PVC)
Kapasitas Reaktor:	34719,047 kg/jam
Kuat Arus Listrik	67147,358 kA
Volume Reaktor	16,1154 m ³
Tegangan Stack	671,4738 V
Dimensi Reaktor	
Luas Permukaan	2685,8943 m ²
Jarak antar elektroda	0,4 mm
Jumlah Plat	1343 Unit

Hambatan Listrik	0,00000033 Ω
------------------	---------------------

3.3.3 Pompa

Spesifikasi pompa yang digunakan pada pabrik ini dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini:

Tabel 3. 4 Spesifikasi Pompa

Spesifikasi			
Parameter	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 3
Kode Alat	P-01	P-02	P-03
Fungsi	Mengalirkan air dari Utilitas	Mengalirkan Air dari Tangki Penyimpanan menuju Reaktor (R-01)	Mengalir Air Recycle Reaktor (R-01)
Jenis	<i>Centrifugal pump</i>		
Bahan Konstruksi	<i>Commercial Steel</i>		
<i>Impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>		
Viskositas (cP)	0,6165	0,6165	0,2933
Kapasitas (gpm)	140,8545	179,3849	186,2407
Tekanan Input (atm)	1	1	1
Tekanan Output (atm)	1	1	1
Suhu Operasi (°C)	30	30	70
<i>Total Head</i> (m)	15,4508	4,9409	4,8421
Efisiensi pompa (%)	50%	50%	50%
Daya motor (Hp)	8	2	2

3.3.4 Heater

Spesifikasi Heater yang digunakan pada pabrik ini dapat dilihat pada Tabel 3.5 di bawah ini:

Tabel 3. 5 Spesifikasi Heater

Spesifikasi Heater		
Kode	H-01	
Fungsi	Menaikkan temperatur keluaran T-01 menuju R-01 dari suhu 35 °C menjadi suhu 70 °C	
Bahan		
Jenis Pompa	Shell and Tube Heat Exchanger	
Kondisi Operasi		
	Annulus	Inner Pipe
Suhu Masuk	70 °C	25 °C
Suhu Keluar	30 °C	35 °C
Tekanan	1 atm	
Spesifikasi Alat		
	Annulus	Inner Pipe
Hairpins	6 buah	
Panjang	15 ft	
ID	4,026 in	3,068 in
OD	4,5 in	3,5 in
A	35,791	

Pressure Drop	0,0632 psi	0,00002 psi
Rd	0,004	
<i>Surface Area</i> (ft ³ /ft)	1,175 ft ² /ft	0,917 ft ² /ft

3.3.5 Tangki Silika

Spesifikasi tangki silika yang digunakan pada pabrik ini dapat dilihat pada Tabel 3.6 di bawah ini:

Tabel 3. 6 Spesifikasi Tangki Silika

Spesifikasi Tangki Silika		
Kode	TS-01	TS-02
Fungsi	Mengendapkan uap air yang masih terkandung dalam oksigen	Mengendapkan uap air yang masih terkandung dalam hidrogen
Jumlah	1	1
Tipe	Adsorber Vessel dengan atap Torispherical roof	
Kondisi Operasi		
Suhu Operasi (°C)	30	30
Tekanan Operasi (atm)	1	1
Spesifikasi Alat		
Tipe Atap	Torispherical Roof	
Bahan Konstruksi	Stainless Steel SS-316L	
Kapasitas (kg/jam)	5654,7853	21606,8945
Volume (m3)	54,9946	3,8860
Diameter (m)	69,993	4,946
Tinggi (m)	23,3311	1,649
Tinggi Head (m)	11,4110	11,4129
Tebal Head (m)	0,2616	0,4616
Tinggi Total (m)	111,4792	72,6372

3.3.6 Cooler

Spesifikasi *cooler* yang digunakan pada pabrik ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. 7 Spesifikasi Cooler-01

Spesifikasi		
Fungsi	Menurunkan temperature produk keluaran R-01 menuju TS-01	
Jenis Pompa	Shell and Tube Heat Exchanger	
Kondisi Operasi		
	Annulus	Inner Pipe
Suhu Masuk	70 °C	25 °C
Suhu Keluar	30 °C	35 °C
Tekanan	1 atm	
Spesifikasi Alat		
Hot Fluid		
IDs	15,25 in	
Passes	1	
ΔP	0,1721 psi	
Cold Fluid		
Nt	810 buah	
L	3,000 ft	
OD	0,039 in	
ID	0,870 in	
BWG	16,0000	
ΔP	0,213 psi	

Tabel 3. 8 Spesifikasi Cooler-02

Spesifikasi		
Fungsi	Menurunkan temperature produk keluaran R-01 menuju TS-02	
Jenis Pompa	Shell and Tube Heat Exchanger	
Kondisi Operasi		
	Annulus	Inner Pipe
Suhu Masuk	70 °C	25 °C
Suhu Keluar	30 °C	35 °C
Tekanan	1 atm	
Spesifikasi Alat		
Hot Fluid		
IDs	15,25 in	
Passes	1	
ΔP	2,1621 psi	
Cold Fluid		
Nt	862 buah	
L	3,000 ft	
OD	0,039 in	
ID	0,870 in	
BWG	16,0000	
ΔP	0,213 psi	

Tabel 3. 9 Spesifikasi Cooler-03

Spesifikasi	
Fungsi	Menurunkan temperature produk keluaran TS-01 menuju T-02

Jenis Pompa	<i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	
Kondisi Operasi		
	<i>Annulus</i>	<i>Inner Pipe</i>
Suhu Masuk	176 °C	25 °C
Suhu Keluar	30 °C	35 °C
Tekanan	1 atm	
Spesifikasi Alat		
<i>Hot Fluid</i>		
IDs	14,10 in	
Passes	1	
ΔP	0,0547 psi	
<i>Cold Fluid</i>		
Nt	127 buah	
L	3,000 ft	
OD	0,039 in	
ID	0,870 in	
BWG	16,0000	
ΔP	0,213 psi	

Tabel 3. 10 Spesifikasi Cooler-04

Spesifikasi		
Fungsi	Menurunkan temperature produk keluaran TS-02 menuju T-03	
Jenis Pompa	Shell and Tube Heat Exchanger	
Kondisi Operasi		
	Annulus	Inner Pipe
Suhu Masuk	253 °C	25 °C

Suhu Keluar	30 °C	35 °C
Tekanan	1 atm	
Spesifikasi Alat		
Hot Fluid		
IDs	15,25 in	
Passes	1	
ΔP	2,7743 psi	
Cold Fluid		
Nt	1 buah	
L	3,000 ft	
OD	0,039 in	
ID	0,870 in	
BWG	16,0000	
ΔP	0,213 psi	

3.3.7 Kompresor

Spesifikasi kompresor yang digunakan pada pabrik ini dapat dilihat pada Tabel 3.11 di bawah ini:

Tabel 3. 11 Spesifikasi Kompresor

Spesifikasi Kompresor		
Kode	K-01	K-02
Fungsi	Menaikkan tekanan Hidrogen dari TS-01 Menuju T-02	Menaikkan tekanan Oksigen dari TS-02 menuju T-03
Bahan	Carbon steel SA 203 Grade C	
Jenis	Centrifugal multistage	
Kondisi Operasi		
Suhu Masuk	30 °C	30 °C

Suhu Keluar	239 °C	171 °C
Tekanan Masuk	1 atm	1 atm
Tekanan Keluar	400 atm	6 atm
Jumlah stage	3	3
Power	2080,7521 HP	90,9541 HP

3.3.8 Tangki KOH

Spesifikasi Tangki KOH yang digunakan pada pabrik ini dapat dilihat pada Tabel 3.12 di bawah ini:

Tabel 3. 12 Spesifikasi Tangki KOH

Spesifikasi	
Fungsi Tangki	Menyimpan senyawa katalis KOH
Tipe	Tangki Silinder Vertikal Silo dengan <i>Cone Roof</i> dan <i>Hooper Bottom</i>
Fase	Padat
Jumlah Tangki	2
Kondisi Operasi	Suhu = 30 °C
	Tekanan = 1 atm
Spesifikasi	<i>Stainless Steel</i> 316L (ASTM A240 Type 316L)
	Volume tangki: 1121,623 m ³
	Diameter: 8,940 m
	Tinggi silinder: 17,8791 m
	Tinggi Total: 21,88 m
Head and Bottom	Jenis Head: Conical Roof
	Tebal Head: 0,2362 in
	Tinggi Head: 1,2 m

	Jenis bottom: Hopper Bottom
	Tebal bottom: 0,2362 in
	Tinggi Bottom: 2,5807 m

3.3.9 Mixer

Spesifikasi *Mixer* yang digunakan pada pabrik ini dapat dilihat pada Tabel 3.13 di bawah ini:

Tabel 3. 13 Sepsifikasi Mixer

Spesifikasi	
Fungsi	Mencampurkan air dan KOH
Tipe	Mixer Agitator dengan <i>Axial Flow Impeller</i>
Kondisi Operasi	Suhu = 30 °C
	Tekanan = 1 atm
Spesifikasi	<i>Stainless Steel</i> (SS316)
	Kapasitas tangki: 38495,257 kg/jam
	Volume tangki: 27,171m ³
	Diameter: 3,259 m
	Tinggi: 3,259 m
Jenis <i>Impeller</i>	<i>Pitch Batch Turbine</i>
	Diameter <i>Impeller</i> : 1,141 m
	Daya <i>Impeller</i> : 1,8687 kW
	Daya Motor: 2,6382 kW

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Total

Tabel 3. 14 Neraca Massa Total Pabrik

Komponen	Input	Output			
	Arus 1	Arus 4	Arus 5	Arus 7	Arus 8
H ₂ O	27.261,68	1.564,77	0,00	3.129,53	0,00
H ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	2.525,25
O ₂	0,00	0,00	20.042,13	0,00	0,00
Sub total	27.261,68	1.564,77	20.042,13	3.129,53	2.525,25
total	27.261,68	27.261,68			

3.4.2 Neraca Massa Reaktor (R-01)

Tabel 3. 15 Neraca Massa di R-01

Komponen	Input	Output		
	Arus 2	Arus 3	Arus 6	Arus 9
H ₂ O	34.719,05	1.564,77	3.129,53	7.457,37
H ₂	0,00	0,00	2.525,25	0,00
O ₂	0,00	20.042,13	0,00	0,00
Sub total	34.719,05	21.606,90	5.654,78	7.457,37
total	34.719,05	34.719,05		

3.4.3 Neraca Massa Tangki Silika 1 (TS-01)

Tabel 3. 16 Neraca Massa di TS-01

Komponen	Input	Output	
	Arus 6	Arus 7	Arus 8
H ₂ O	3.129,53	3.129,53	0,00
H ₂	2.525,25	0,00	2.525,25
O ₂	0,00	0,00	0,00
Sub total	5.654,78	3.129,53	2.525,25

total	5.654,78	5654,78
-------	----------	---------

3.4.4 Neraca Massa Tangki Silika 2 (TS-02)

Tabel 3. 17 Neraca Massa di TS-02

Komponen	Input	Output	
	Arus 3	Arus 4	Arus 5
H ₂ O	1.564,76	1.564,76	0,00
H ₂	0,00	0,00	0,00
O ₂	20.042,13	0,00	20.042,13
Sub total	21.606,89	1.564,76	20.042,13
total	21.606,89	21.606,89	

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Neraca Panas Reaktor (R-01)

Tabel 3. 18 Neraca Panas R-01

Komponen	Q input (kJ/jam)	Q output (kJ/jam)
Q Umpan	118.477,1876	0,00
Q produk	0,00	0,00
Q Reaksi	-372.797.563,11	0,00
Q Pendingin	0,00	-372.577.534,04
Total	-372.459.056,86	-372.331.334,68

3.5.2 Neraca Panas Heater (H-01)

Tabel 3. 19 Neraca Panas H-01

Komponen	Input	Output
	ΔH_{in}	ΔH_{out}
	kJ/jam	kJ/jam
Q _{in}	749326,0269	
Q _{out}		6545708,9567

Qsteam	5796382,9298	
Total	6545708,9567	6545708,9567

3.5.3 Neraca Panas Cooler (CL-01)

Tabel 3. 20 Neraca Panas CL-01

Komponen	Input	Output
	ΔH_{in}	ΔH_{out}
	kJ/jam	kJ/jam
Qin	1828120,3923	
Qout		209082,6726
Qsteam		1619037,7198
Total	1828120,3923	1828120,3923

3.5.4 Neraca Panas Cooler (CL-02)

Tabel 3. 21 Neraca Panas CL-02

Komponen	Input	Output
	ΔH_{in}	ΔH_{out}
	kJ/jam	kJ/jam
Qin	968675,5835	
Qout		106920,8826
Qsteam		861754,7010
Total	968675,5835	968675,5835

3.5.5 Neraca Panas Cooler (CL-03)

Tabel 3. 22 Neraca Panas CL-02

Komponen	Input	Output
	ΔH_{in}	ΔH_{out}
	kJ/jam	kJ/jam
Qin	345911,5705	
Qout		11353,8223

Qsteam		334557,7482
Total	5318,0766	345911,5705

3.5.6 Neraca Panas Cooler (CL-04)

Tabel 3. 23 Neraca Panas CL-02

Komponen	Input	Output
	ΔH_{in}	ΔH_{out}
	kJ/jam	kJ/jam
Qin	19610,6199	
Qout		18471,7652
Qsteam		1138,8547
Total	19610,6199	19610,6199

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi dibutuhkan pertimbangan karena berpengaruh terhadap lancarnya kegiatan industri dan memberikan keuntungan yang besar terhadap Perusahaan. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan lokasi pabrik yang tepat karna hal ini akan memberikan kontribusi yang sangat penting baik dalam segi teknis maupun ekonomis. Pabrik Hidrogen akan didirikan di Jatigede, Sumedang, Jawa Barat.



Gambar 4. 1 Peta Lokasi Pabrik

4.1.1. Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

a. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku merupakan faktor penting dalam penentuan lokasi pabrik, karena ketersediaan bahan baku berpengaruh terhadap kelancaran proses produksi. Ketersediaan bahan baku hidrogen dengan proses eletrolisis relatif mudah didapat karena bahan baku tidak perlu diimpor ataupun diproduksi oleh pabrik lain. Bahan baku dapat diperoleh dari sumber air terdekat yaitu sungai Kali Cimanuk.

b. Pemasaran

Produk hasil pabrik ini merupakan bahan baku dalam industri. Jawa Barat merupakan jantung manufaktur dengan banyak industri dan Pelabuhan. Hidrogen dapat dimanfaatkan langsung sebagai bahan baku

ammonia maupun sumber energi untuk sektor manufaktur yang sulit dialiri listrik.

c. Utilitas

Dalam pendirian suatu pabrik, memerlukan tenaga listrik, air, dan bahan bakar sebagai faktor penunjang yang paling penting. Lokasi pabrik dekat dengan sungai Kali Cimanuk dan tenaga listrik tersebut bisa didapat dari PLTA Jatigede. Sungai Kali Cimanuk merupakan sungai yang cukup dibutuhkan untuk sistem utilitas dan keperluan air dapat diperoleh dengan mudah.

d. Transportasi

Penjualan bahan baku dan produk dapat dilakukan melalui jalan darat. Pendirian pabrik di daerah Jatigede berdasarkan pertimbangan kemudahan sarana transportasi darat yang mudah dijangkau. Dengan adanya sarana transportasi akan menjamin kelancaran jalannya produksi pabrik.

e. Tenaga Kerja

Tenaga kerja dapat ditingkatkan dengan jumlah lulusan dari sarjana Universitas seluruh Indonesia yang memiliki kualitas dan potensial. Untuk Kawasan industri baru, hal ini merupakan salah satu kesempatan untuk membuka lapangan pekerjaan sehingga mengurangi angka pengangguran.

4.1.2. Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

a. Perluasan Pabrik

Perluasan area pabrik di masa mendatang harus sudah dipertimbangkan sejak awal pendirian pabrik. Pertimbangan dalam pendirian pabrik dapat direncanakan dalam jangka waktu 5 sampai 20 tahun ke depan. Apabila suatu saat nanti akan memperluas area pabrik tidak kesulitan mencari lahan perluasan.

b. Perizinan Tanah

Sesuai dengan kebijakan pemerintah tentang kebijakan pengembangan industri, lokasi pendirian pabrik dipilih di daerah kawasan industri, sehingga memudahkan perizinan dalam pendirian pabrik.

c. Lingkungan Masyarakat Sekitar

Dengan didirikannya pabrik hidrogen di lokasi yang ditentukan, respon masyarakat sekitar akan dirasa cukup ramah dan terbuka dengan berdirinya pabrik baru. Lapangan pekerjaan semakin bertambah dan juga pabrik yang tidak menghasilkan produk samping yang berbahaya, sehingga tidak berdampak pada lingkungan sekitar.

4.2 Tata Letak Pabrik

Tata letak suatu pabrik merupakan susunan fasilitas fisik yang terdiri dari perlengkapan, bangunan, tenaga, dan sarana lain yang harus memiliki tujuan untuk mengoptimalkan hubungan antara petugas pelaksana, aliran informasi, aliran barang, dan tata cara yang diperlukan untuk mencapai tujuan secara efektif, efisien, ekonomis, dan aman. Oleh karena itu, tata letak pabrik harus dirancang sedemikian rupa sehingga penggunaan area pabrik dan kelancaran proses terjamin.

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam menentukan tata letak pabrik, yaitu:

- a. Kemungkinan perluasan pabrik harus menjadi hal yang perlu dipertimbangkan sedari awal agar tidak menimbulkan permasalahan dikemudian hari.
- b. Harga tanah merupakan faktor yang dapat membatasi kemampuan dalam penyediaan awal.
- c. Kualitas, kuantitas, dan tata letak bangunan harus memenuhi standar sebagai bangunan pabrik yang baik dalam hal kekuatan bangunan fisik maupun perlengkapannya, seperti ventilasi, insulasi, dan instalasi.
- d. Keamanan merupakan faktor paling penting dalam penentuan tata letak pabrik untuk menghindari bahaya yang tidak diinginkan seperti ledakan dan kebakaran.
- e. Fasilitas berupa jalan raya sangat dibutuhkan untuk pengangkutan bahan baku, produk, dan bahan-bahan lainnya. Penempatan jalan tidak boleh mengganggu kegiatan proses atau kelancaran dari tempat yang dilalui.

Secara garis besar tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa bagian utama, yaitu:

- a. Dalam administrasi/perkantoran sebagai tempat administrasi dan keuangan pabrik, laboratorium sebagai pusat kontrol kualitas bahan baku

dan produk, serta fasilitas pendukung seperti kantin, poliklinik, aula, dan tempat ibadah.

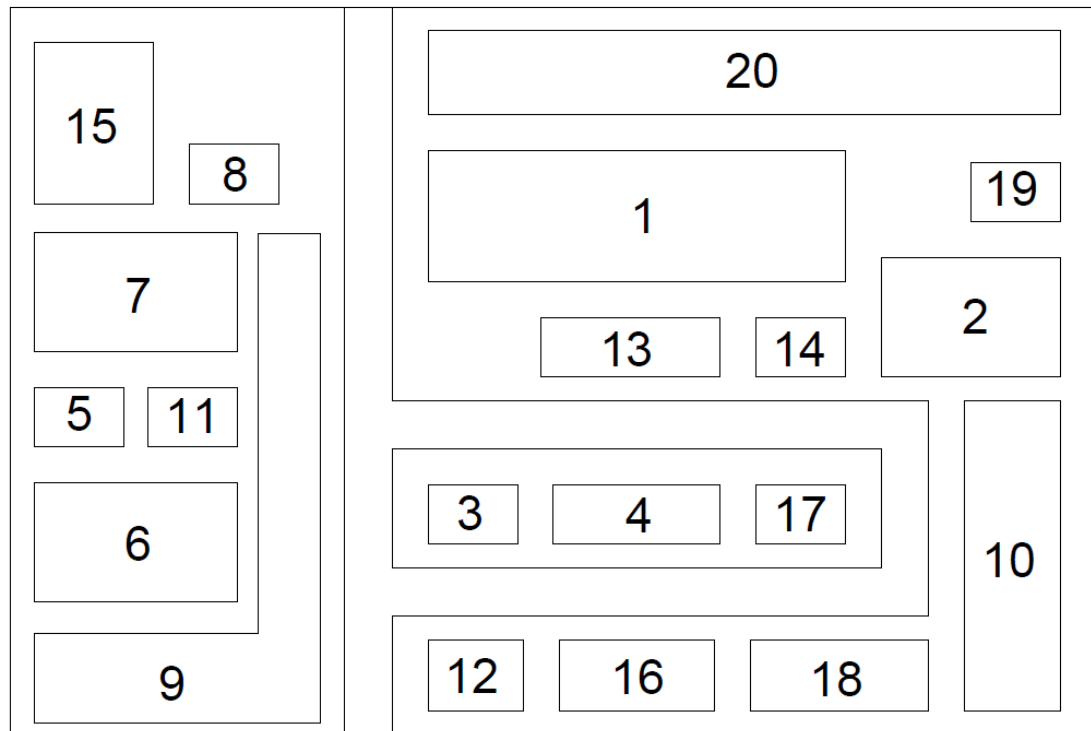
- b. Daerah proses, ruang kontrol, dan daerah perluasan merupakan lokasi alat-alat proses untuk kegiatan produksi dan perluasannya serta ruang kontrol sebagai pusat berlangsungnya pemantauan proses.
- c. Daerah utilitas merupakan pusat kegiatan penyediaan air, steam, air pendingin, dan tenaga listrik guna menunjang jalannya proses serta unit pemadam kebakaran.

Berikut rincian luas tanah yang digunakan sebagai bahan bangunan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Perincian Luas Tanah

No	Lokasi	Tanah			Bangunan		
		Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
1	Area Proses	260	70	18.200	250	60	15.000
2	Area Utilitas						
3	Bengkel	15	10	150	12	8	96
4	Gudang Peralatan	20	15	300	15	10	150
5	Kantin	15	7	105	12	6	72
6	Kantor Utama	45	35	1575	40	30	1.200
7	Kantor Teknik dan Produksi	45	35	1575	40	30	1.200
8	Laboratorium	25	15	600	22	12	264
9	Parkir Utama	40	20	800	32	16	512
10	Parkir Truk	25	10	250	16	12	192
11	Poliklinik	15	10	150	12	8	96
12	Pos Keamanan	5	5	25	4	4	16
13	Ruang Kendali Proses	25	15	375	18	12	216

14	Ruang Kendali Utilitas	10	15	150	9	12	108
15	Area Mess	60	40	2.400	54	36	1.944
16	Masjid	30	20	600	25	15	375
17	Unit Pemadam Kebakaran	15	10	150	12	8	96
18	Taman	18	9	162	16	8	128
19	Unit Pengolahan Limbah	20	15	300	16	12	192
20	Daerah Perluasan	300	60	18.000	260	54	14.040
21	Jalan	70	12	840	65	10	650
Luas Tanah				46.707			
Luas Bangunan							36.547



Gambar 4. 2 Gambar Tata Letak

Keterangan:

- | | | |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1. Area Proses | 8. Laboratorium | 15. Area Mess |
| 2. Area Utilitas | 9. Parkir Utama | 16. Masjid |
| 3. Bengkel | 10. Parkit Truk | 17. Unit Pemadam Kebakaran |
| 4. Gudang Peralatan | 11. Poliklinik | 18. Taman |
| 5. Kantin | 12. Pos Keamanan | 19. Unit Pengolahan Limbah |
| 6. Kantor Utama | 13. Ruang Kedali Proses | 20. Daerah Perluasan |
| 7. Kantor Teknik dan Produksi | 14. Ruang Kendali Utilitas | |

4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses

Untuk kegiatan operasional yang efisien harus memperhatikan tata letak mesin/alat yang optimal. Dalam perancangan tata letak peralatan proses ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain:

4.3.1 Aliran bahan Baku dan Produk

Aliran bahan baku dan produk yang tepat dapat meminimalisir biaya serta dapat meningkatkan kelancaran dan keamanan produksi. Sistem pemipaan di permukaan tanah perlu diperhatikan sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu lalu lintas kerja.

4.3.2 Aliran Udara

Aliran udara di area proses harus diperhatikan. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu lokasi yang berupa penumpukan atau akumulasi bahan kimia yang berbahaya dan dapat membahayakan keselamatan para pekerja.

4.3.3 Pencehayaan

Pencahayaannya pada suatu pabrik harus memadai pada setiap tempat proses yang memiliki resiko tinggi harus diberi penerangan tambahan.

4.3.4 Lalu Lintas Kendaraan dan Manusia

Dalam perancangan tata letak setiap alat diusahakan agar dapat memberikan kenyamanan dan keleluasaan bergerak pada para pekerja dalam melaksanakan aktivitas produksi. Selain itu, perlu diperhatikan juga supaya pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat dan mudah. Ketika terjadi gangguan pada alat proses agar dapat segera diperbaiki.

4.3.5 Jarak Antar Alat Proses

Alat proses yang mempunyai suhu dan tekanan tinggi, sebaiknya dipisahkan dari alat lainnya. Sehingga jika terjadi ledakan ataupun kebakaran pada alat, tidak membahayakan pada alat proses lainnya.



Gambar 4. 3 Tata Letak Alat Proses

4.3.6 Pertimbangan Ekonomi

Penempatan suatu alat proses pada pabrik diusahakan dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran serta keamanan produksi pabrik sehingga dapat memberikan keuntungan lebih.

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Organisasi

Pabrik hidrogen ini memerlukan sistem manajemen perusahaan yang baik untuk memperlancar jalannya Perusahaan. Bentuk Perusahaan yang direncanakan pada Prarancangan Pabrik Hidrogen ini adalah Perseroan Terbatas (PT). Perseroan Terbatas merupakan badan hukum untuk menjalankan usaha yang memiliki modal terdiri dari saham-saham, yang pemiliknya memiliki bagian sebanyak saham yang dimilikinya.

Pemilihan bentuk perusahaan (PT) ini berdasarkan beberapa faktor, antara lain:

- a. Kemudah dalam mendapatkan modal usaha awal, yaitu dengan menawarkan penjual saham perusahaan kepada investor.

- b. Mudah bergerak di pasar modal.
- c. Tanggung jawab pemegang saham terbatas, sehingga kelancaran produksi hanya dipegang oleh pimpinan Perusahaan.
- d. Efisiensi dari manajemen dimana para pemegang saham dapat memilih orang yang ahli sebagai dewan komisaris dan direktur utama yang cukup cakap dan berpengalaman.
- e. Lapangan usaha lebih luas karena suatu PT dapat menarik modal yang sangat besar dari masyarakat, sehingga dengan modal ini PT dapat memperluas usahanya.
- f. Menjadi badan usaha yang memiliki kekayaan tersendiri, terpisah dari kekayaan pribadi.
- g. Mudah mendapatkan kredit dari bank dengan jaminan perusahaan yang ada.

4.4.2 Struktur Organisasi

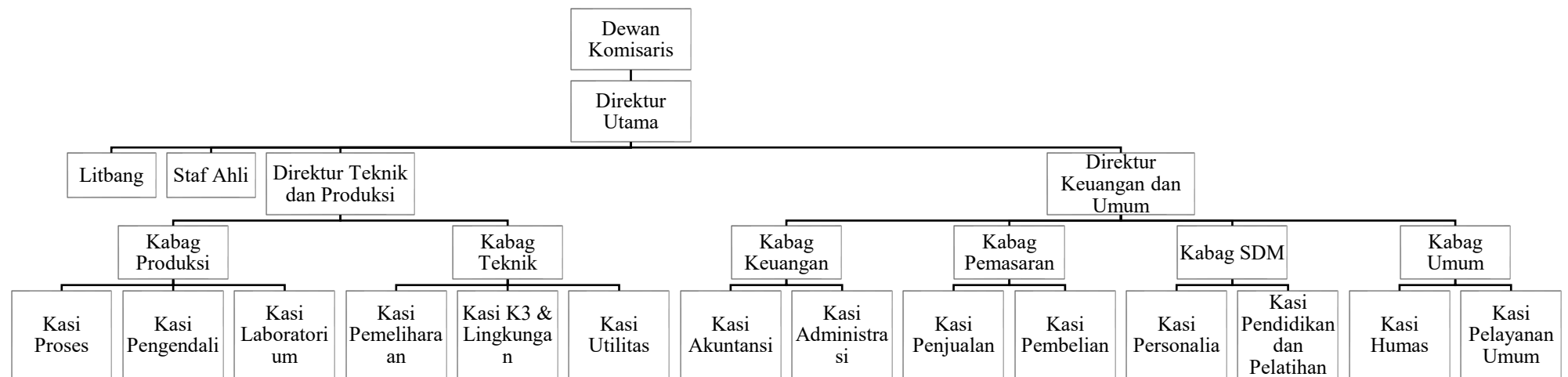
Struktur organisasi merupakan salah satu factor penting untuk menunjang kelangsungan dan kemajuan suatu perusahaan demi tercapainya kerjasama yang baik antar karyawan. Struktur organisasi ditunjukkan dalam bentuk bagan yang sifatnya statis yang terdiri dari kotak jabatan dan garis tata hubungan, dimana setiap individu yang berada di perusahaan tersebut memiliki peran dan tanggung jawabnya masing-masing sesuai dengan bidang dan keahliannya.

Struktur organisasi adalah rangkaian hirarki kedudukan dan jabatan yang menjelaskan garis wewenang, tanggung jawab, dan pertanggungjawaban. Untuk mendapatkan system organisasi yang baik, maka perlu memperhatikan azasazasnya, antara lain pendelegasian wewenang, perumusan tujuan perusahaan dengan jelas, pembagian tugas kerja yang jelas, kesatuan perintah dan tanggung jawab, system control atas kerja yang telah dilaksanakan, dan organisasi perusahaan yang fleksibel (Widjaja, 2003).

Tujuan dibangunnya sebuah struktur organisasi pada suatu perusahaan untuk memperjelas tugas pokok dan fungsi setiap individu supaya tidak terjadi tumpang tindih dalam pelaksanaannya, antara lain:

- a. Membagi pekerjaan ke dalam tugas dan departemen yang spesifik
- b. Menugaskan pekerjaan dan tanggung jawab yang berhubungan dengan pekerjaan individu.
- c. Mengkoordinasikan berbagai tugas organisasi.
- d. Menghimpun berbagai pekerjaan ke dalam unit-unit.
- e. Menjalinkan hubungan di antara individu kelompok dan departemen.
- f. Membuat hirarki wewenang yang formal.
- g. Mengalokasikan dan menempatkan sumber-sumber daya organisasi.

(Hanny, 2011)



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi

4.4.3 Tugas dan Wewenang

1. Pemegang Saham

Pemegang saham terdiri dari beberapa orang yang mengumpulkan modal untuk kepentingan pendirian dan berjalannya operasi suatu Perusahaan. Pemegang kekuasaan tertinggi pada Perusahaan adalah Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) yang memiliki wewenang, antara lain:

- a. Mengangkat dan memberhentikan Dewan Komisaris
- b. Mengangkat dan memberhentikan Direktur
- c. Mengesahkan hasil-hasil usaha serta neraca perhitungan untung rugi tahunan dari Perusahaan.

(Widjaja, 2003)

2. Dewan Komisaris

Dewan komisaris merupakan pelaksana tugas sehari-hari dari pemilik saham sehingga Dewan Komisaris bertanggung jawab kepada pemilik saham. Tugas Dewan Komisaris adalah:

- a. Menilai dan menyetujui rencana direksi tentang kebijakan umum, target Perusahaan, alokasi sumber-sumber dana dan pengarahan pemasaran
- b. Mengawasi tugas Direktur
- c. Membantu Direktur dalam menjalankan tugas-tugas penting.

3. Direktur Utama

Direktur utama merupakan pimpinan tertinggi dalam Perusahaan dan bertanggung jawab terhadap maju mundurnya Perusahaan. Direktur utama bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris atas tindakan dan kebijakan yang telah diambilnya sebagai pemimpin Perusahaan. Direktur utama membawahi:

- a. Direktur Teknik dan Produksi

Direktur Teknik dan Produksi memiliki tugas memimpin pelaksanaan kegiatan pabrik yang berhubungan dengan bidang produksi dan operasi, teknik, pengembangan, pemeliharaan, peralatan, pengadaan, dan laboratorium.

b. **Direktur Keuangan dan Umum**

Direktur Keuangan dan Umum bertanggung jawab kepada direktur utama dalam bidang administrasi, keuangan, personalia, pemasaran, humas, keamanan, dan keselamatan kerja.

c. **Staf Ahli**

Staf ahli terdiri dari tenaga-tenaga ahli yang bertugas membantu direktur dalam menjalankan tugasnya, baik yang berhubungan dengan teknik maupun administrasi. Staf ahli memiliki tugas sesuai dengan bidang kahlian masing-masing, yaitu:

- a. Mengadakan evaluasi bidang teknik dan ekonomi Perusahaan
- b. Memberikan masukan-masukan dalam perencanaan dan pengembangan Perusahaan
- c. Memberikan saran dalam bidang hukum.

4. Penelitian dan Pengembangan

Penelitian dan pengembangan terdiri dari tenaga ahli sebagai pembantu direksi dan bertanggung jawab terhadap direksi dalam hal pengembangan dan rekayasa produk.

Tugas penelitian dan pembangunan:

- a. Memperbaiki mutu produksi
- b. Memperbaiki dan melakukan motivasi terhadap proses produksi
- c. Meningkatkan efesiensi Perusahaan diberbagai bidang.

5. Kepala Bagian

Secara umum tugas kepala bagian adalah mengkoordinir, mengatur, dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan garis-garis yang diberikan oleh pimpinan Perusahaan.

a. Kepala Bagian Produksi

Kepala bagian produksi bertanggung jawab terhadap Direktur dalam bagian mutu dan kelancaran produksi, serta mengkoordinir kepala-kepala seksi yang dibawahinya, yaitu kepala seksi proses, pengendalian, dan laboratorium.

Tugas kepala seksi proses:

- a. Mengawasi jalannya proses produksi dan bertanggung jawab terhadap kelancaran proses.

Tugas seksi laboratorium:

- a. Mengawasi dan menganalisa mutu bahan baku dan bahan pembantu
- b. Mengawasi dan menganalisa mutu produksi
- c. Mengawasi hal-hal yang berkaitan dengan limbah pabrik
- d. Membuat laporan secara berkala dan diserahkan kepada kepala bagian produksi.

Tugas kepala seksi pengendalian:

- a. Mengendalikan laju produksi pabrik sesuai kebutuhan pasar
- b. Bertanggung jawab terhadap kuantitas hasil produksi dan jumlah pemakaian bahan baku dan bahan penunjang lainnya.

b. Kepala Bagian Teknik

Kepala bagian teknik bertanggung jawab terhadap direktur dalam bidang peralatan dan utilitas. Kepala seksi yang dibawah oleh kepala bagian teknik, yaitu kepala seksi pemeliharaan, utilitas, dan K3 & lingkungan.

Tugas kepala seksi pemeliharaan:

- a. Melaksanakan pemeliharaan fasilitas gedung dan peralatan pabrik
- b. Memperbaiki kerusakan peralatan pabrik

Tugas kepala seksi utilitas:

- a. Melaksanakan dan mengatur sarana utilitas untuk memenuhi kebutuhan proses, air, *steam*, udara, dan tenaga listrik.

Tugas kepala seksi K3 & Lingkungan:

- a. Mengatur, menyediakan, dan mengawasi hal-hal yang berhubungan dengan keselamatan kerja
- b. Melindungi pabrik dari resiko kecelakaan kerja.

c. Kepala Bagian Keuangan

Kepala bagian keuangan bertanggung jawab terhadap direktur dalam bidang keuangan Perusahaan. Kepala bagian keuangan membawahi kepala seksi akuntansi dan administrasi.

Tugas kepala seksi akuntansi:

- a. Mencatat utang piutang Perusahaan
- b. Mengatur administrasi kantor dan pembukuan
- c. Mengaudit masalah perpajakan.

Tugas kepala seksi administrasi:

- a. Menghitung penggunaan uang Perusahaan, mengamankan uang, dan membuat ramalan tentang keuangan masa depan
- b. Mengadakan perhitungan tentang gaji dan insentif karyawan.

d. Kepala Bagian Pemasaran

Kepala bagian pemasaran bertanggung jawab terhadap direktur dalam bidang pemasaran produk dan pembelian alat dan bahan yang dibutuhkan untuk proses produksi. Kepala bagian pemasaran membawahi kepala seksi penjualan dan pembelian.

Tugas kepala seksi penjualan:

- a. Merencanakan strategi penjualan hasil produksi
- b. Mengatur distribusi hasil produksi.

Tugas kepala seksi pembelian:

- a. Melaksanakan pembelian barang dan peralatan yang dibutuhkan Perusahaan yang berkaitan dengan proses produksi
- b. Mengetahui pasar dan mutu bahan baku serta mengatur keluar dan masuknya bahan dan alat dari gudang.

e. Kepala Bagian Sumber Daya Manusia

Kepala bagian sumber daya manusia bertanggung jawab terhadap direktur dalam bidang personalia dan Pendidikan. Kepala bagian SDM membawahi kepala seksi personalia dan kepala seksi Pendidikan & pelatihan.

Tugas kepala seksi personalia:

- a. Menciptakan suasana kerja yang berkaitan antar pekerja, pekerjaan, dan lingkungannya.
- b. Menciptakan disiplin kerja yang tinggi supaya kondisi kerja menjadi tenang dan dinamis
- c. Melakukan hal-hal yang berkaitan dengan kesejahteraan karyawan.

Tugas kepala seksi Pendidikan & pelatihan:

- a. Mendidik dan melatih karyawan baru atau mahasiswa kerja praktek (KP) tentang hal-hal yang berkaitan dengan Perusahaan.

f. Kepala Bagian Umum

Kepala bagian umum bertanggung jawab terhadap direktur dalam bidang hubungan masyarakat dan pelayanan umum. Kepala bagian umum membawahi kepala seksi humas dan pelayanan umum.

Tugas kepala seksi humas:

- a. Mengatur hubungan antara Perusahaan dengan Masyarakat di luar lingkungan Perusahaan
- b. Menjalin relasi atau Kerjasama dengan instansi lain.

Tugas kepala seksi pelayanan umum:

- a. Menjaga keamanan dan kebersihan pabrik
- b. Memberikan pelayanan umum kepada pegawai.

4.4.4 Status Karyawan dan Sistem Upah

Pada pabrik ini sistem upah karyawan berbeda-beda tergantung pada status, kedudukan, tanggung jawab, dan keahlian. Menurut status karyawan dapat dibagi menjadi tiga golongan, yaitu karyawan tetap, harian, dan borongan.

a. Karyawan Tetap

Merupakan karyawan yang telah memenuhi persyaratan yang ditentukan, diterima, dipekerjakan, diberhentikan dengan surat

Keputusan (SK) direksi, mendapat balasan jasa, dan mendapat gaji bulanan sesuai dengan kedudukan, keahlian, dan masa kerjanya.

b. Karyawan Harian

Merupakan karyawan yang diangkat dan diberhentikan direksi tanpa SK direksi dan mendapat upah harian yang dibayar setiap akhir pekan.

c. Karyawan Borongan

Merupakan karyawan yang digunakan oleh pabrik bila diperlukan saja. Pekerja menerima upah berdasarkan satuan hasil kerja atau target proyek yang diselesaikan, bukan berdasarkan durasi waktu bekerja.

4.4.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan

Pabrik hidrogen elektrolisis air direncanakan beroperasi selama 330 hari dalam 1 tahun dan 24 jam per hari. Sisa hari yang bukan hari libur dapat digunakan untuk perawatan dan *shutdown*. Sedangkan pembagian jam kerja karyawan digolongkan dalam dua golongan, yaitu:

a. Karyawan *non shift*

Karyawan *non shift* merupakan para karyawan yang tidak menangani proses produksi secara langsung. Karyawan *non shift* antara lain yaitu direktur staf ahli, kepala bagian, kepala seksi, serta karyawan yang berada di kantor. Karyawan *non shift* bekerja selama 5 hari dalam 1 minggu dengan pembagian kerja sebagai berikut:

Jam Kerja

- Hari Senin – Kamis : Jam 07.30-16.00
- Hari Jum'at : Jam 07.30-16.00

Jam Istirahat

- Hari Senin – Kamis : Jam 12.00-13.00
- Hari Jum'at : Jam 12.00-14.00

b. Karyawan *Shift*

Karyawan *shift* adalah karyawan yang terlibat secara langsung terhadap proses produksi atau mengatur bagian-bagian tertentu dari pabrik yang mempunyai hubungan dengan masalah keamanan dan

kelancaran produksi. Karyawan yang termasuk *shift* adalah operator produksi, Sebagian dari bagian teknik, bagian gedung, dan bagian yang harus selalu siaga untuk menjaga keamanan dan keselamatan pabrik.

Para karyawan *shift* akan bekerja secara bergantian selama 24 jam dengan pembagian kerja sebagai berikut:

- *Shift* pagi : Jam 07.00-15.00
- *Shift* sore : Jam 15.00-23.00
- *Shift* malam : Jam 23.00-07.00

Untuk keryawan *shift* dibagi menjadi 4 regu, dimana 3 regu bekerja dan satu regu beristirahat serat dilakukan secara bergantian. Tiap regu akan mendapat giliran 3 hari kerja dan satu hari libur tiap *shift* dan masuk lagi untuk *shift* berikutnya. Jadwal kerja masing-masing regu ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Jadwal Kerja Karyawan Shift

Regu	Hari											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	II	II	-	III	III	III	-	I	I	I	-	II
B	III	III	III	-	I	I	I	-	II	II	II	-
C	I	-	II	II	II	-	III	III	III	-	I	I
D	-	I	I	I	-	II	II	II	-	III	III	III

Keterangan:

A, B, C, D : Kelompok kerja *shift*

1, 2, 3, ... : Hari kerja

- : Hari libur

I, II, III : *Shift*

4.4.6 Status, Sistem Penggajian dan Penggolongan Karyawan

a. Penggolongan Jabatan

Dalam melaksanakan kegiatan Perusahaan, pabrik yang didirikan membutuhkan susunan tenaga kerja seperti struktur organisasi. Dalam mendirikan suatu pabrik harus ada penggolongan jabatan. Berikut rincian penggolongan jabatan:

Tabel 4. 3 Penggolongan Karyawan dan Tingkat Pendidikan

No.	Jabatan	Pendidikan
1.	Direktur Utama	Magister Teknik Kimia
2.	Direktur Teknik dan Produksi	Magister Teknik Kimia
3.	Direktur Keuangan dan Umum	Magister Ekonomi / Akuntansi
4.	Penelitian dan Pengembangan	Sarjana Teknik / MIPA
5.	Staf Ahli	Sarjana Teknik / Ekonomi
6.	Kepala Bagian Produksi	Sarjana Teknik Kimia
7.	Kepala Bagian Teknik	Sarjana Teknik
8.	Kepala Bagian Keuangan	Sarjana Ekonomi / Akuntansi
9.	Kepala Bagian Pemasaran	Sarjana Ekonomi / Akuntansi
10.	Kepala Bagian SDM	Sarjana Komunikasi / Psikolog
11.	Kepala Bagian Umum	Sarjana Manajemen / Teknik
12.	Sekretaris	Akademi Sekretaris
13.	Kepala seksi Proses	Sarjana Teknik Kimia
14.	Kepala Seksi Pengendalian	Sarjana Teknik
15.	Kepala Seksi Laboratorium	Sarjana Teknik / MIPA
16.	Kepala Seksi K3 & Lingkungan	Sarjana Teknik Kimia / Teknik Lingkungan
17.	Kepala Seksi Pemeliharaan	Sarjana Teknik Mesin
18.	Kepala Seksi Utilitas	Sarjana Teknik

19.	Kepala Seksi Akuntansi	Sarjana Akuntansi
20.	Kepala Seksi Administrasi	Sarjana Ekonomi
21.	Kepala Seksi Penjualan	Sarjana Ekonomi
22.	Kepala Seksi Pembelian	Sarjana Ekonomi
23.	Kepala Seksi Personalia	Sarjana Komunikasi / Psikologi
24.	Kepala Seksi Pendidikan & Pelatihan	Sarjana Teknik
25.	Kepala Seksi Humas	Sarjana Komunikasi
26.	Kepala Seksi Pelayanan Umum	Sarjana Komunikasi
27.	Operator Proses	Sarjana / Ahli Madya
28.	Operator Utilitas	Sarjana / Ahli Madya
29.	Karyawan Proses <i>Shift</i>	Sarjana / Ahli Madya
30.	Karyawan Proses <i>nonshift</i>	Sarjana / Ahli Madya
31.	Karyawan Laboratorium	Sarjana / Ahli Madya
32.	Karyawan K3 & Lingkungan	Sarjana / Ahli Madya
33.	Karyawan Pemeliharaan	Sarjana / Ahli Madya
34.	Karyawan Utilitas <i>shift</i>	Sarjana / Ahli Madya
35.	Karyawan Utilitas <i>nonshift</i>	Sarjana / Ahli Madya
36.	Karyawan Penelitian dan Pengembangan	Sarjana / Ahli Madya
37.	Karyawan Administrasi	Sarjana / Ahli Madya
38.	Karyawan Penjualan	Sarjana / Ahli Madya
39.	Karyaawan Pembelian	Sarjana / Ahli Madya
40.	Karyawan Akuntansi	Sarjana / Ahli Madya
41.	Karyawan Personalia	Sarjana / Ahli Madya
42.	Karyawan Humas	Sarjana / Ahli Madya
43.	Dokter	Sarjana Kedokteran
44.	Paramedis / Perawat	Akademi Perawatan
45.	Supir	SLTA / Sederajat
46.	Petugas Keamanan	SLTA / Sederajat

47.	<i>Cleaning Service</i>	SLTA / Sederajat
48.	Karyawan Dapur	SLTA / Sederajat

b. Sistem Gaji Pegawai

Sistem pembagian gaji pada perusahaan terbagi menjadi 3 jenis, yaitu:

a. Gaji Bulanan

Gaji yang diberikan kepada karyawan dengan jumlah tetap sesuai peraturan Perusahaan.

b. Gaji Harian

Gaji yang diberikan kepada karyawan tidak tetap atau buruh harian.

c. Gaji Lembur

Gaji yang diberikan kepada karyawan yang bekerja melebihi jam pokok.

Berikut rincian gaji sesuai jabatan:

Tabel 4. 4 Gaji Karyawan

Jabatan	Jumlah	Gaji /bulan (Rp)	Total Gaji (Rp)	Gaji /tahun (Rp)
Direktur Utama	1	Rp 40.000.000	Rp 40.000.000	Rp 480.000.000
Direktur Teknik dan Produksi	1	Rp 25.000.000	Rp 25.000.000	Rp 300.000.000
Direktur Keuangan dan Umum	1	Rp 25.000.000	Rp 25.000.000	Rp 300.000.000
Penelitian dan Pengembangan	1	Rp 12.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Staf Ahli	2	Rp 15.000.000	Rp 30.000.000	Rp 360.000.000
Kepala Bagian Produksi	1	Rp 12.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Kepala Bagian Teknik	1	Rp 12.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000

Kepala Bagian Keuangan	1	Rp 12.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Kepala Bagian Pemasaran	1	Rp 12.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Kepala Bagian SDM	1	Rp 12.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Kepala Bagian Umum	1	Rp 12.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Sekretaris	1	Rp 8.000.000	Rp 8.000.000	Rp 96.000.000
Kepala seksi Proses	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Pengendalian	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Laboratorium	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi K3 & Lingkungan	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Pemeliharaan	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Utilitas	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Akuntansi	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Administrasi	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Penjualan	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Pembelian	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000

Kepala Seksi Personalia	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Pendidikan & Pelatihan	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Humas	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Kepala Seksi Pelayana Umum	1	Rp 10.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Operator Proses	17	Rp 8.000.000	Rp 136.000.000	Rp 1.632.000.000
Operator Utilitas	3	Rp 8.000.000	Rp 24.000.000	Rp 288.000.000
Karyawan Proses <i>Shift</i>	68	Rp 8.000.000	Rp 544.000.000	Rp 6.528.000.000
Karyawan Proses <i>nonshift</i>	2	Rp 8.000.000	Rp 16.000.000	Rp 192.000.000
Karyawan Laboratorium	8	Rp 8.000.000	Rp 64.000.000	Rp 768.000.000
Karyawan K3 & Lingkungan	8	Rp 8.000.000	Rp 64.000.000	Rp 768.000.000
Karyawan Pemeliharaan	8	Rp 8.000.000	Rp 64.000.000	Rp 768.000.000
Karyawan Utilitas <i>shift</i>	12	Rp 8.000.000	Rp 96.000.000	Rp 1.152.000.000
Karyawan Utilitas <i>nonshift</i>	2	Rp 8.000.000	Rp 16.000.000	Rp 192.000.000
Karyawan Penelitian dan Pengembangan	5	Rp 8.000.000	Rp 40.000.000	Rp 480.000.000

Karyawan Administrasi	2	Rp 6.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Karyawan Penjualan	2	Rp 6.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Karyaawan Pembelian	2	Rp 6.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Karyawan Akuntansi	2	Rp 6.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Karyawan Personalia	2	Rp 6.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Karyawan Humas	2	Rp 6.000.000	Rp 12.000.000	Rp 144.000.000
Dokter	1	Rp 7.000.000	Rp 7.000.000	Rp 84.000.000
Paramedis / Perawat	2	Rp 5.000.000	Rp 10.000.000	Rp 120.000.000
Supir	4	Rp 4.500.000	Rp 18.000.000	Rp 216.000.000
Petugas Keamanan	10	Rp 4.500.000	Rp 45.000.000	Rp 540.000.000
<i>Cleaning Service</i>	4	Rp 4.500.000	Rp 18.000.000	Rp 216.000.000
Karyawan Dapur	4	Rp 4.500.000	Rp 18.000.000	Rp 216.000.000

c. Kesejahteraan Sosial Karyawan

Kesejahteraan sosial yang diberikan Perusahaan pada karyawan antara lain:

1. Tunjangan

- Tunjangan berupa gaji pokok yang diberikan berdasarkan golongan karyawan
- Tunjangan jabatan yang diberikan berdasarkan jabatan yang dipegang karyawan

- Tunjangan lembur diberikan kepada karyawan yang bekerja diluar jam kerja berdasarkan jumlah jam kerja.

2. Cuti

- Cuti tahunan diberikan kepada setiap karyawan selama 12 hari kerja dalam 1 tahun
- Cuti sakit diberikan kepada karyawan yang menderita sakit berdasarkan keterangan dari dokter.

3. Pakaian Kerja

Pakaian kerja diberikan kepada setiap karyawan sejumlah 3 pasang setiap tahunnya.

4. Pengobatan

- Biaya pengobatan bagi karyawan yang menderita sakit yang disebabkan oleh kecelakaan kerja ditanggung Perusahaan sesuai dengan undang-undang yang berlaku.
- Biaya pengobatan bagi karyawan yang menderita sakit yang tidak diakibatkan oleh kecelakaan kerja diatur berdasarkan kebijaksanaan Perusahaan.

5. Asuransi Tenaga Kerja (ASTEK)

ASTEK diberikan oleh Perusahaan jika jumlah karyawan lebih dari 10 orang dengan gaji Rp. 1.000.000,00 per bulan.

Fasilitas yang diberikan bagi karyawan dalam melaksanakan aktivitas selama bekerja, antara lain:

- a. Penyediaan kendaraan untuk transportasi antar jemput karyawan.
- b. Kantin untuk memenuhi kebutuhan makan karyawan terutama saat makan siang.
- c. Tempat beribadah.
- d. Pakaian seragam kerja dan peralatan keamanan seperti *safety helmet*, *safety shoes*, dan kacaamata serta tersedia alat-alat keamanan lain seperti masker, *ear plug*, sarung tangan tahan api, dan lainnya.

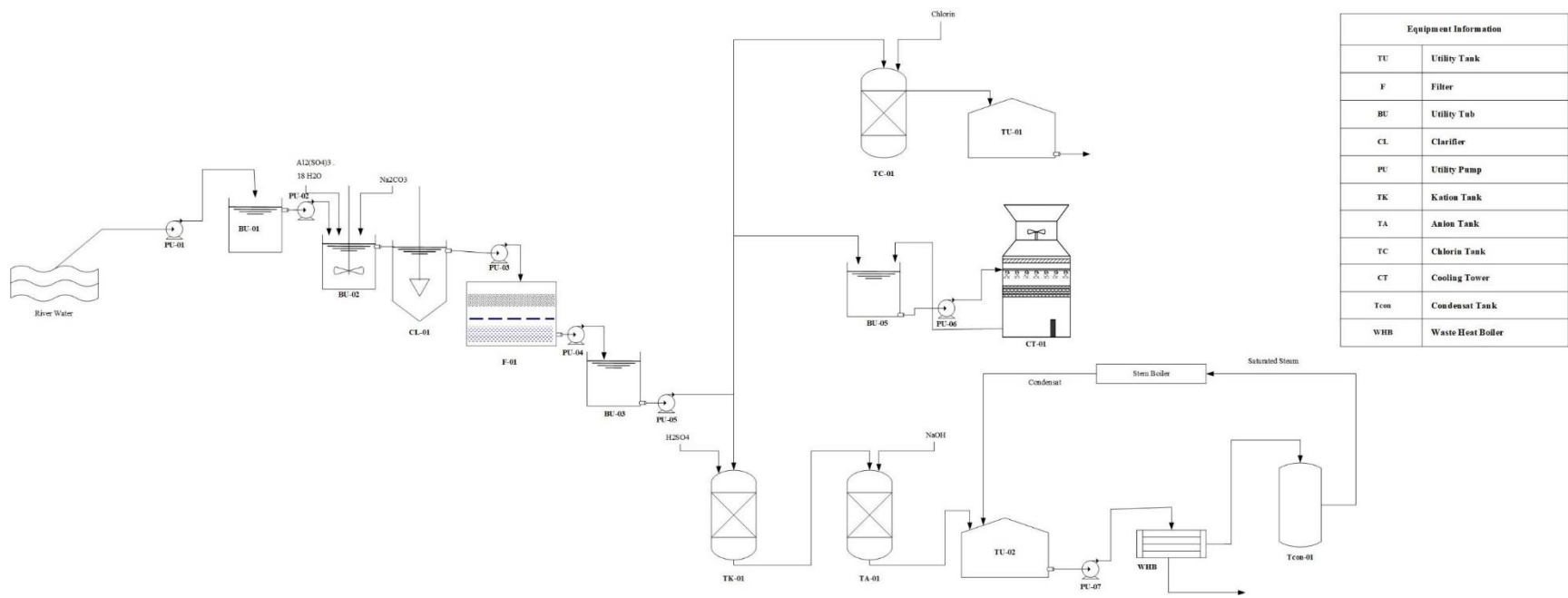
- e. Fasilitas Kesehatan seperti tersedianya poliklinik yang dilengkapi dengan tenaga medis dan paramedis.

BAB V

UTILITAS

Utilitas merupakan kumpulan unit pendukung keberlangsungan proses produksi pada pabrik. Untuk menjamin kelancaran proses produksi pabrik Hidrogen, terdapat unit penunjang yang berkaitan dengan penyediaan utilitas yang meliputi:

1. Unit penyediaan dan pengolahan air
2. Unit pembangkit *steam*
3. Unit pembangkit listrik
4. Unit penyedia bahan bakar
5. Unit penyedia udara tekan
6. Unit pengolahan limbah



Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas

5.1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

5.1.1. Unit Penyediaan Air

Dalam memenuhi kebutuhan air, suatu pabrik pada umumnya menggunakan beberapa sumber air seperti air sumur, air sungai, air danau ataupun air laut. Pada perancangan Pabrik Elektrolisis Hidrogen ini, sumber air yang digunakan yaitu berasal dari air sungai kali Cimanuk Jatigede, Sumedang, Jawa Barat. Pertimbangan pemilihan air sungai sebagai sumber adalah sebagai berikut:

1. Pengolahan air sungai terlihat relatif sederhana dibandingkan sumber air seperti air laut yang prosesnya cukup rumit.
2. Air sungai umumnya menyediakan volume yang jauh lebih besar. selama daerah aliran sungai terjaga, air sungai akan selalu terisi kembali oleh siklus hujan.

Air sungai digunakan sebagai:

1. Air proses dan air pendingin

Air sungai yang diambil akan diolah sampai memenuhi syarat sebagai air yang siap digunakan dalam pabrik. Proses air memiliki beberapa hal yang harus diperhatikan seperti kesadahan air dan limbah logam yang terlarut dalam air.

Air juga dapat digunakan sebagai media pendingin karena beberapa faktor diatas, seperti air yang mudah diperoleh selama daerah sungai terjadi, mudah dalam proses pengolahan dan dapat menyerap panas.

2. Air Sanitasi

Air sanitasi merupakan air yang digunakan untuk dikonsumsi oleh perumahan, perkantoran serta keperluan laboratorium. Salah satu syarat air sanitasi meliputi sifat fisik, kimia dan bakteri, sifat fisik yang diinginkan untuk dikonsumsi ialah berwarna jernih, di bawah suhu normal dan tidak berbau atau berasa. Sifat kimia untuk air sanitasi meliputi tidak mengandung zat organik atau anorganik dan beracun.

Untuk syarat bakteri ialah yang tidak mengandung bakteri di dalamnya.

3. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler dilakukan terlebih dahulu pengolahan secara kimiawi seperti:

- a. Zat yang dapat menyebabkan korosi karena kandungan air memiliki larutan seperti O_2 , CO_2 dan sebagainya
- b. Zat yang dapat menyebabkan kerak karena adanya kesadahan dan suhu yang tinggi. Salah satunya berupa garam karbohidrat
- c. Zat yang menyebabkan berbusa. Air yang diambil pada saat proses pemanasan dapat menyebabkan busa pada boiler karena sudah terlarut zat organik dan anorganik dalam jumlah yang besar.

4. Air Perkantoran dan Pabrik

Air yang digunakan untuk keseharian seperti memasak, laboratorium dan lain-lain.

5.1.2. Pengolahan Air

Sumber air diolah bertujuan untuk memenuhi syarat air yang akan digunakan dalam industri kimia, meliputi pengolahan fisik dan kimia. Sumber air yang digunakan sebelumnya dialirkan ke dalam bak penampung menggunakan pompa utilitas, di mana sebagian kotoran air pada bak penampung terendapkan secara alamiah karena gravitasi.

Setelah itu, air dialirkan ke dalam bak penggumpal dengan menambahkan Na_2CO_3 dan $Al_2(SO_4)_3$ dengan pompa. Kedua senyawa tersebut berfungsi untuk mengendapkan kotoran yang terikut dalam air sungai. Setelah dari bak penggumpal, air dialirkan menuju *clarifier*, dimana flok-flok yang terbentuk diendapkan secara gravitasi. Kotoran akan mengendap di *blow down*, sedangkan air yang keluar dari *clarifier* dialirkan ke dalam sand filter. Pada sand filter, air yang tersaring dipisahkan dari partikel-partikel halus yang masih terkandung dalam air. Setelah menyaring air dialirkan menuju ke bak penampung air bersih, dengan tujuan agar bisa

digunakan langsung untuk make up air pendingin. Untuk air sanitasi dan air proses perlu diolah lebih lanjut. Pengolahannya antara lain:

1. Unit pengolahan untuk perkantoran dan pabrik

Pengolahan air tersebut bertujuan agar dapat digunakan kebutuhan umum. Air yang di filtered dalam storage tank dialirkan ke tangki klorinator yang diberi tambahkan kaporit dengan bertujuan untuk membunuh mikroorganisme yang terkandung dalam air. Air yang sudah bersih akan dialirkan ke dalam bak penampung air pabrik dan perkantoran.

2. Unit Pengolahan untuk boiler dan bahan baku

- a. Unit Demineralisasi Air

Unit ini bermanfaat untuk menghilangkan kandungan mineral yang terikat dalam air seperti Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} dan sebagainya dengan menggunakan resi. Air yang sudah bebas dari kandungan mineral akan diproses menjadi air umpan boiler. Demineralisasi diperlukan karena air umpan dan bahan baku memerlukan kriteria seperti:

- Tidak menimbulkan kerak pada shell and tube heat exchanger, karena dapat menurunkan efisiensi operasi
- Terbebas dari gas yang menyebabkan terjadinya korosi
- Air di dalam reaktor harus terbebas dari kandungan mineral agar proses berjalan lancar.

Air yang berasal dari filtered water storage tank bertujuan untuk make up air yang ada di dalam tangki kondensat. Setelah ini, diumpankan ke dalam tangki kation untuk menghilangkan kandungan mineral kation seperti Mg^{2+} , K^+ , Fe^{2+} dan sebagainya. Kemudian, setelah menghilangkan kandungan kation dialirkan menuju tangki anion untuk memisahkan kandungan mineral anion seperti HCO_3^- , Cl^- dan SiO_3^{2-} . Air yang keluar dari kedua tangki tersebut diharapkan mempunyai nilai pH berkisaran 6,1-6,2. Kemudian air dialirkan ke unit demineralisasi water storage sebagai

penyimpanan sementara sebelum diproses lebih lanjut sebagai air umpan dan bahan baku.

b. Unit Deaerator

Setelah air diproses dengan demineralisasi, air masih mengandung gas gas terlarut seperti oksigen dan karbon dioksida. Gas yang terlarut akan dihilangkan terlebih dahulu untuk menghindarkan korosi pada alat. Alat Deaerator berfungsi sebagai menghilangkan kandungan gas tersebut. Di dalam deaerator, bahan seperti Hidrazin diinjeksi untuk mengikat oksigen. Nitrogen yang terbentuk dari hasil reaksi bersama dengan gas lain, dihilangkan dengan bantuan *stripping* dengan steam bertekanan rendah.

Larutan ammonia berfungsi untuk mengontrol kandungan pH. Air yang keluar dari deaerator menghasilkan pH berkisaran 8.5-9.5. Air tersebut dialirkan ke dalam air umpan boiler dan disuntikkan larutan Na_2HPO_4 untuk mencegah terbentuknya kerak-kerak kalsium dan silikat pada steam drum dan tube boiler. Sebelum diumpankan, air diberi *dispersant* terlebih dahulu

c. Unit Air Pendingin

Air pendingin yang digunakan pada proses ini berasal dari air yang didinginkan di dalam *cooling tower*, dengan kehilangan air karena penguapan, terbawa tetesan udara maupun dilakukan blow down di *cooling tower* akan diganti dengan air yang sudah disediakan di *filtered water storage tank*. Air pendingin harus memiliki sifat yang tidak korosif, menimbulkan lumut, dan kerak.

5.2. Unit Pembangkit *Steam*

Kebutuhan *steam* untuk memanaskan pada *heater* sebesar 34.719,05 kg/jam. Kebutuhan *steam* ini akan dipenuhi dengan *boiler*. Sebelum masuk pada alat *boiler*, air harus menghilangkan kandungan mineral untuk mencegah kerak didalam *boiler*. Oleh karena itu, harus menggunakan kedua *exchanger* tersebut.

5.3. Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit penyedia bahan bakar ini bertujuan untuk menyediakan bahan bakar yang digunakan pada alat boiler. Bahan bakar ini dipilih untuk menjalankan alatnya dan dibutuhkan sebesar 327.734,5 liter/tahun. Generator ini memiliki prinsip kerja dimana solar dan udara yang terbakar secara kompresi akan menghasilkan panas. Panas yang didapat akan digunakan untuk menghidupkan generator untuk menghasilkan listrik yang dialirkan menuju unit utilitas dan proses.

5.4. Unit Pembangkit Listrik

Pada dasarnya listrik yang digunakan pada pabrik berasal dari Perusahaan Listrik Negara. Namun, beberapa pabrik juga dilengkapi dengan generator. Generator berfungsi sebagai sumber listrik cadangan apabila listrik utama mengalami kendala. Generator ini dipilih berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

- Tenaga listrik yang dihasilkan cukup besar.
- Tegangan dapat diubah sesuai kebutuhan.

Kebutuhan listrik ini digunakan untuk menggerakkan alat proses, alat utilitas, instrumen, bengkel, dan lain-lain.

Tabel 5. 1 Kebutuhan listrik alat

No	Alat	HP	kW
1.	Pompa P-01	8	5,966
2.	Pompa P-02	2	1,491
3.	Pompa P-03	2	1,491
4.	Pompa PU-01	0,75	0,559
5.	Pompa PU-02	7,5	5,593

6.	Pompa PU-03	0,5	0,373
7.	Pompa PU-04	0	0
8.	Pompa PU-05	1	0,746
9.	Pompa PU-06	1	0,746
10.	Pompa PU-07	75	55,928
11.	Mixer-01	3,538	2,638
12.	Kompresor K-01	3638,16	2713,020
13.	Kompresor K-02	52,92	39,464
14.	Kompresor KU-01	0,5	0,373
15.	Fan	0,5	0,373
16.	Pengaduk	0,5	0,373
17.	Rake	0,5	0,373
Total		3794,369554	2829,507

Untuk kebutuhan listrik pabrik seperti kantor, bengkel, dan laboratorium dirancang sebesar 8000 kW, maka total kebutuhan listrik pabrik yang digunakan sebesar 11.000 kW. Kebutuhan listrik ini dipenuhi dari PLN, energi listrik terbarukan dan cadangan sudah disediakan generator diesel.

5.5. Unit Penyedia Udara Tekan

Tujuan dari udara tekan tersebut untuk menggerak alat-alat kontrol dan bekerja secara *Pneumatic*. Hasil total udara tekan yang dibutuhkan sebesar 1,1245 m³/jam (Kondisi operasi: 30 °C, 1 atm) pada tekanan 4 bar. Untuk memenuhi kebutuhan udara tekan yang digunakan pada kompresor dengan daya 0,5 Hp untuk menekan udara di lingkungan.

5.6. Spesifikasi Alat Utilitas

5.6.1. Bak Pengendap Awal

Fungsi	: Mengendapkan kotoran kasar yang terbawa dari air sungai	
Jenis	: Bak persegi yang diperkuat beton bertulang	
Volume	: 160,6834	m ³
Panjang	: 10,9778	m
Lebar	: 3,66	m
Tinggi	: 4	m
Jumlah	: 1	buah
Harga	: Rp 720.000.000 (\$ 39982,68)	

5.6.2. Bak Pencampur Cepat

Fungsi	: Mencampurkan bahan kimia penggumpal dan pengurangan kesadahan	
Jenis	: Bak silinder tegak	
Volume	: 0,1063	m ³
Diameter	: 0,5134	m
Tinggi	: 1	m
Daya	: 0,5	hp
Harga	: Rp 1.750.000 (\$ 97.18)	

5.6.3. Klarifier

Fungsi	: Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran koloid yang terbawa oleh air.	
--------	--	--

Jenis	: Bak silinder tegak
Volume	: 31,8816 m ³
Tinggi silinder	: 3,7672 m
Tinggi kerucut	: 3,66 m
Daya	: 0,5 hp
Harga	: Rp 370.000.000 (\$ 20546.65)

5.6.4. Saringan Pasir

Fungsi	: Menyaring kotoran yang masih terbawa dari klarifier
Jenis	: Bak persegi panjang
Panjang	: 0,8636 m
Lebar	: 0,8636 m
Tinggi	: 0,6858 m
Jumlah	: 1 buah
Harga	: Rp 40.000.000 (\$ 2221.26)

5.6.5. Bak Air Bersih

Fungsi	: Mengendapkan dan menampung air bersih dari saringan pasir
Jenis	: Bak persegi yang diperkuat beton bertulang
Volume	: 43,7574 m ³
Panjang	: 5,7287 m
Lebar	: 1,91 m
Tinggi	: 4 m
Jumlah	: 1 buah
Harga	: Rp 193.500.000 (\$ 10745.35)

5.6.6. Bak Air Minum

Fungsi	: Menampung air bersih untuk kantor pelayanan dan rumah tangga
--------	--

Jenis	: Bak persegi yang diperkuat beton bertulang
Volume	: 10,8543 m ³
Panjang	: 2,8532 m
Lebar	: 0,95 m
Tinggi	: 4 m
Jumlah	: 1 buah
Harga	: Rp 48.600.000 (\$ 2698.83)

5.6.7. Menara Pendingin

Fungsi	: Memulihkan suhu air dari 313,15 K sampai 303,15 K
Jenis	: Menara pendingin jujur tarik
Luas Penampang	: 1,1098 m ³
Panjang	: 1,0535 m
Lebar	: 1,0535 m
Tinggi	: 15 ft
Daya	: 0,5 hp
Jumlah	: 1 buah
Harga	: Rp 80.000.000 (\$ 4428.85)

5.6.8. Tangki Penukar Kation

Fungsi	: Menghilangkan kandungan mineral yang masih terbawa dalam air
Jenis	: Silinder tegak
Diameter	: 0,8636 m
Tinggi	: 1,0363 m
Jumlah	: 1 buah
Harga	: Rp 10.500.000 (\$ 583.08)

5.6.9. Tangki Penukar Anion

Fungsi	: Menghilangkan kandungan mineral yang masih terbawa dalam air
--------	--

Jenis	: Silinder tegak
Diameter	: 0,5907 m ³
Tinggi	: 0,7088 m
Jumlah	: 1 buah
Harga	: Rp 8.000.000 (\$ 444.25)

5.6.10. Tangki HCl

Fungsi	: Melarutkan HCl untuk regenerasi penukar kation
Jenis	: Silinder tegak
Volume	: 0,3909 m ³
Diameter	: 0,7457 m
Tinggi	: 0,7457 m
Jumlah	: 1 buah
Harga	: Rp 17.500.000 (\$ 971.80)

5.6.11. Tangki CH₃OH

Fungsi	: Melarutkan NaOH untuk regenerasi penukar kation
Jenis	: Silinder tegak
Volume	: 0,1251 m ³
Diameter	: 0,5101 m
Tinggi	: 0, 5101 m
Jumlah	: 1 buah
Harga	: Rp 4.500.000 (\$ 246.89)

5.6.12. Tangki Umpan Boiler

Fungsi	: Menyimpan air umpan boiler selama 8 jam
Jenis	: Silinder horizontal dilengkapi dengan deaerator
Volume	: 631,503 m ³
Panjang	: 19,3 m
Diameter	: 6,4475 m
Jumlah	: 1 buah

Harga : Rp 2.500.000.000 (\$ 138828.75)

5.6.13. Tangki Kondensat

Fungsi : Menyimpan air umpan boiler selama 1 jam
 Jenis : Silinder horizontal dilengkapi dengan deaerator
 Volume : 41,8722 m³
 Diameter : 2,6096 m
 Panjang : 7,83 m
 Jumlah : 1 buah
 Harga : Rp 650.000.000 (\$ 36095.47)

5.6.14. Pompa

Tabel 5. 2 Spesifikasi Pompa

Spesifikasi	Pompa						
Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05	PU-06	PU-07
Fungsi	Memompa air sungai menuju bak pengendapan awal	Memompa air dari BU-01 menuju bak klarifier	Memompa air dari klarifier menuju saringan pasir	Memompa air dari sand filter menuju bak air bersih	Mendistribusikan air menuju bak air minum, cooling tower dan air umpan boiler	Memompa air dari pengendapan menuju bak klarifier	Memompa air dari umpan boiler menuju WHB
Kondisi Operasi							
Kapasitas (GPM)	24,44	23,28	22,17	19,97	19,02	20,80	288,18

Pump Head (m)	17,56	114,78	5,69	-0,67	32,34	31,41	175,154
Suhu fluida °C	30	30	30	30	30	30	30
Jenis Pompa	<i>Centrifugal Pump</i>						
Efisiensi pompa	80%	84%	80%	-	80%	80%	90%
Daya Motor (Hp)	0,75	7,5	0,5	-	1	1	75
Jumlah	1	1	1	1	1	1	1
Material Konstruksi	<i>Commercial Steel</i>						

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

6.1. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi dalam prarancangan pabrik Hidrogen menggunakan Elektrolisis Air bertujuan untuk mengetahui apakah pabrik yang dirancang memenuhi uji kelayakan atau tidak untuk didirikan. Analisa ekonomi dilakukan untuk memperkirakan kelayakan investasi modal dalam kegiatan produksi suatu pabrik, besar laba yang diperoleh, jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal investasi dan keuntungan yang diperoleh. Beberapa faktor yang perlu ditinjau dalam evaluasi ekonomi, yaitu:

- a. *Return On Investment* (ROI)
- b. *Pay Out Time* (POT)
- c. *Break Event Point* (BEP)
- d. *Shut Down Point* (SDP)
- e. *Discounted Cash Flow* (DCF)

Untuk meninjau faktor-faktor di atas perlu dilakukan perkiraan terhadap beberapa hal, antara lain:

- a. Penentuan Modal Industri (*Total Capital Investment*), yang meliputi:
 1. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)
 2. Modal Kerja (*Working Capital Investment*)
- b. Penentuan Biaya Produksi Total (*Production Cost*)
 1. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*)
 2. Biaya pengeluaran umum (*General Expense*)
- c. Pendapatan Modal
 1. Biaya tetap (*Fixed Cost*)
 2. Biaya variable (*Variable Cost*)
 3. Biaya mengambang (*Regulated Cost*)

6.2. Penaksiran Harga Peralatan

Harga peralatan akan berubah tergantung pada kondisi ekonomi yang sedang terjadi. Untuk mengetahui harga peralatan yang pasti setiap tahun sangat sulit

sehingga diperlukan metode atau cara untuk memperkirakan harganya. Penentuan harga peralatan dapat dilakukan dengan menggunakan indeks harga. Indeks harga dapat diperkirakan dengan menggunakan data indeks harga pada tahun 1998 sampai 2023, sebagai berikut:

Tabel 6. 1 Indeks Harga

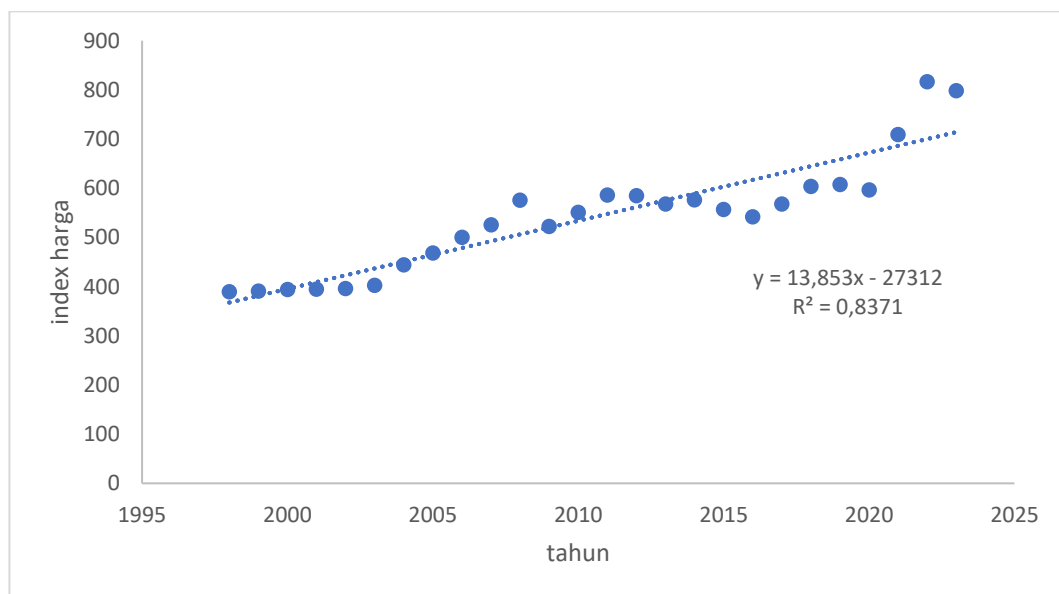
Tahun	Indeks
1998	389.5
1999	390.6
2000	394,1
2001	394,3
2002	395,6
2003	402
2004	444,2
2005	468,2
2006	499,6
2007	525,4
2008	575,4
2009	521,9
2010	550,8
2011	585,7
2012	584,6
2013	567,3
2014	576,1
2015	556,8
2016	541,7
2017	567,5
2018	603,1

2019	607,5
2020	596,2
2021	708,8
2022	816
2023	797,9

Sumber: (<https://www.toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices/>)

Pabrik akan direncanakan berdiri pada tahun 2030. Berdasarkan data tersebut, maka dapat diperoleh nilai indeks pada tahun pendirian pabrik dengan cara regresi linear. Dari regresi linear diperoleh persamaan: $y = 13,853x - 27312$ dari persamaan tersebut diperoleh indeks untuk tahun 2030 sebesar 809,59.

Berikut adalah grafik hasil *plotting* data:



Gambar 6. 1 Tahun dan Harga Indeks

Untuk memperkirakan harga peralatan pada tahun 2030 dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$Ex = Ey \left(\frac{Nx}{Ny} \right)$$

(Aries & Newton, 1955)

Keterangan:

Ex = harga alat pada tahun pembelian

Ey = harga alat pada tahun referensi

Nx = nilai indeks tahun 2030

Ny = nilai indeks pada tahun referensi

Berdasarkan rumus tersebut, maka didapatkan hasil perhitungan alat sebagai berikut:

6.2.1. Dasar Perhitungan

1. Kapasitas Produksi = 20.000 ton/tahun
= 20.000.000 kg/tahun
2. Satu tahun operasi = 330 hari
3. Umur Pabrik = 10 tahun
4. Tahun Pendirian Pabrik = 2030
5. Indeks Harga Tahun 2030 = 809,59
6. Upah Buruh Asing = US\$ 20 /man hour
7. Upah Buruh Indonesia = Rp. 20.000 /man hour
8. Kurs Mata Uang = Rp. 17.901

6.2.2. Total Capital Investment

Total *Capital Investment* merupakan total biaya pengeluaran yang digunakan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas produksi dan mengoperasikannya, yang terdiri dari:

a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)

Merupakan pengeluaran pokok untuk mendirikan fasilitas produksi dan pembantunya, seperti:

1. *Physical Plant Cost (PPC)*

Tabel 6. 2 *Physical Plant Cost (PPC)*

No	Jenis	Biaya	Biaya (\$)
1	<i>Purchased Equipment cost</i>	Rp 5.871.429.169.483	\$ 327.972.626

2	<i>Delivered Equipment Cost</i>	Rp 1.467.759.492.362	\$ 81.993.156
3	<i>Instalasi cost</i>	Rp 939.158.140.444	\$ 52.464.004
4	<i>Pemipaan</i>	Rp 3.215.987.563.126	\$ 179.654.073
5	<i>Instrumentasi</i>	Rp 1.464.051.105.426	\$ 81.785.996
6	<i>Insulasi</i>	Rp 221.966.133.426	\$ 12.399.650
7	<i>Listrik</i>	Rp 587.103.796.930	\$ 32.797.263
8	<i>Bangunan</i>	Rp 146.188.000.000	\$ 8.166.471
9	<i>Land & Yard Improvement</i>	Rp 93.414.000.000	\$ 5.218.368
Total		Rp 14.007.057.401.585	\$ 782.451.606

2. Direct Plant Cost (DPC)

Tabel 6. 3 Direct Plant Cost (DPC)

No.	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Engineering cost & Construction cost</i>	Rp 2.801.333.240.281	\$ 156.490.321,23
2	<i>Total DPC (PPC + Engineering & Construction cost)</i>	Rp 16.807.999.441.686	\$ 938.941.927,36
Total		Rp 19.609.332.681.966	\$ 1.095.432.248,59

3. Fixed Capital Investmen (FCI)

Tabel 6. 4 Fixed Capital Investmen (FCI)

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Direct plant cost</i>	Rp 16.807.999.441.686	Rp 938.941.927
2	<i>Contractor's fee</i>	Rp 672.319.977.667	Rp 37.557.677
3	<i>Contingency</i>	Rp 1.680.799.944.169	Rp 93.894.193
Total		Rp 19.161.119.363.521	Rp 1.070.393.797

b. Modal kerja (*Working Capital Investment*)

Working Capital Investment merupakan biaya total pengeluaran yang diperlukan untuk menjalankan operasi dari suatu pabrik pada waktu tertentu, seperti:

1. *Raw Material Inventory*
2. *In Process Inventory*
3. *Product Inventory*
4. *Extended Credit*
5. *Available Cash*

Tabel 6. 5 Working Capital Investment (WCI)

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material Inventory</i>	Rp 37.554.898.932	\$ 2.097.921,84
2	<i>In Process Inventory</i>	Rp 7.169.727.035	\$ 400.521,03
3	<i>Product Inventory</i>	Rp 100.376.178.490	\$ 5.607.294,48
4	<i>Extended Credit</i>	Rp 182.264.727.272	\$ 10.181.818,18
5	<i>Available Cash</i>	Rp 430.183.622.101	\$ 24.031.262,06
Total		Rp 757.549.153.831	\$ 42.318.817,60

6.2.3. Total Production Cost

Total *Production Cost* terdiri dari *Manufacturing Cost*. *Manufacturing Cost* merupakan biaya yang harus disediakan untuk melakukan proses produksi produk dalam suatu pabrik. *Manufacturing Cost* terdiri dari *direct cost*, *indirect cost*, dan *fixed cost* yang terkait dalam pembuatan suatu pabrik.

1. *Direct Manufacturing Cost*

Direct Manufacturing Cost merupakan total biaya pengeluaran yang berkaitan khusus dalam pembuatan suatu produk, meliputi:

Tabel 6. 6 Manufacturing Cost

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	Rp 1.770.445.235.381	\$ 98.902.029,796
2	<i>Labor</i>	Rp 19.248.000.000	\$1.075.247,193
3	<i>Supervision</i>	Rp 1.924.800.000	\$ 107.524,719
4	<i>Maintenance</i>	Rp 383.222.387.270	\$ 21.407.875,944
5	<i>Plant supplies</i>	Rp 57.483.358.091	\$ 3.211.181,392
6	<i>Royalty and patents</i>	Rp 85.924.800.000	\$ 4.800.000
7	<i>Utilities</i>	Rp 53.599.326.023	\$ 2.994.208,481
Total		Rp 2.371.847.906.764	\$ 132.498.067,525

2. Indirect Manufacturing Cost

Indirect Manufacturing Cost merupakan total biaya pengeluaran secara akibat tidak langsung karena operasional atau berjalannya pabrik, seperti:

- *Payroll Overhead*
- *Laboratory*
- *Plant Overhead*
- *Packaging & Shipping*

Tabel 6. 7 Indirect Manufacturing Cost

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Payroll Overhead</i>	Rp 2.887.200.000	\$ 161.287
2	<i>Laboratory</i>	Rp 1.924.800.000	\$ 107.525
3	<i>Plant Overhead</i>	Rp 9.624.000.000	\$ 537.624

4	<i>Packaging and Shipping</i>	Rp 429.624.000.000	\$ 24.000.000
Total		Rp 444.060.000.000	\$ 24.806.435

3. Fixed Manufacturing Cost

Fixed Manufacturing Cost merupakan total biaya yang selalu dikeluarkan saat keadaan beroperasi maupun pada saat tidak beroperasi atau pengeluaran yang memiliki sifat tetap, tidak tergantung pada waktu maupun tingkat jumlah produksi, seperti:

- *Depresiasi*
- *Property tax*
- *Insurance*

Tabel 6. 8 Fixed Manufacturing Cost

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depresiation</i>	Rp 1.532.889.549.082	\$ 85.631.504
2	<i>Property tax</i>	Rp 191.611.193.635	\$ 10.703.938
3	<i>Insurance</i>	Rp 191.611.193.635	\$ 10.703.938
Total		Rp 1.916.111.936.352	\$ 107.039.380

Tabel 6. 9 Manufacturing Cost (MC)

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Direct Manufacturing Cost</i>	Rp 2.371.847.906.764	\$ 132498.068
2	<i>Indirect Manufacturing Cost</i>	Rp 444.060.000.000	\$ 24.806.435
3	<i>Fixed Manufacturing Cost</i>	Rp 1.916.111.936.352	\$ 107.039.380
Total		Rp 4.732.019.843.116	\$ 264.343.883

4. *General Expense*

General Expense Merupakan pengeluaran umum yang meliputi pengeluaran-pengeluaran yang berkaitan dengan fungsi perusahaan yang tidak termasuk *Manufacturing Cost*, seperti:

- *Administration*
- *Sales Expense*
- *Research*
- *Finance*

Tabel 6. 10 General Expense

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Administration</i>	Rp 141.960.595.293	\$ 7.930.316
2	<i>Sales Expense</i>	Rp 236.600.992.156	\$ 13.217.194
3	<i>Research</i>	Rp 165.620.694.509	\$ 9.252.036
4	<i>Finance</i>	Rp 398.373.370.347	\$ 22.254.252
Total		Rp 942.555.652.305	\$ 52.653.799

Tabel 6. 11 Production Cost

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Manufacturing Cost</i>	Rp 4.732.019.843.116	\$ 264.343.882
2	<i>General Expense</i>	Rp 942.555.652.305	\$ 52.653.798
Total		Rp 5.674.575.495.421	\$ 316.997.681

6.3. Analisa Kelayakan

Analisa kelayakan digunakan untuk mengetahui keuntungan yang diperoleh dari suatu pabrik tergolong besar atau tidak sehingga dapat dikategorikan apakah pabrik tersebut potensial didirikan atau tidak, maka perlu dilakukan analisis kelayakan. Beberapa analisis untuk menyatakan kelayakan, sebagai berikut:

6.3.1. Analisis Keuntungan

a. Keuntungan Sebelum Pajak

Total Penjualan	: Rp 8.592.480.000.000
Total Biaya Produksi	: Rp 5.674.575.495.422
Keuntungan	: Total Penjualan – Total Biaya Produksi
	: Rp 2.917.904.504.578

b. Keuntungan Setelah Pajak

Pajak	: 25% × Keuntungan (UU PPh Pasal 17)
	: 25% × Rp 2.917.904.504.578
	: Rp 729.476.126.145
Keuntungan	: Keuntungan Sebelum Pajak - Pajak
	: Rp 2.917.904.504.578 - Rp
	729.476.126.145
	: Rp 2.188.428.378.434

6.3.2. Percent Return on Investment (ROI)

Percent Return on Investment merupakan perkiraan laju keuntungan yang dapat dihasilkan dari modal investasi yang dikeluarkan.

$$\%ROI = \frac{\text{Keuntungan sebelum pajak}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\%$$

- a. ROI sebelum pajak : 15,23%
- b. ROI setelah pajak : 11,42%

6.3.3. Pay Out Time (POT)

Pay Out Time merupakan jumlah tahun yang diperlukan untuk mengembalikan modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang diperoleh.

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investement}}{(\text{Keuntungan Sebelum pajak} + \text{Depresiasi})}$$

- a. POT sebelum pajak : 4,31 tahun

b. POT setelah pajak : 5,15 tahun

6.3.4. Break Even Point (BEP)

Break Even Point merupakan titik impas dimana pabrik tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. Pabrik yang beroperasi di bawah standar BEP akan mengalami kerugian, sedangkan pabrik yang beroperasi di atas BEP akan mengalami keuntungan.

$$BEP = \frac{Fa + 0.3 Ra}{Sa - Va - 0.7 Ra} \times 100\%$$

Keterangan:

Sa = *Sales price*

Ra = *Regulated Cost*

Va = *Variable Cost*

Fa = *Fixed Manufacturing Cost*

Dimana:

- *Fixed manufacturing cost (Fa)* merupakan jumlah biaya yang harus dikeluarkan pada setiap tahunnya pada saat pabrik berproduksi ataupun tidak berproduksi atau disebut biaya tetap.
- *Variable Cost (Va)* merupakan jumlah biaya yang harus dikeluarkan setiap tahunnya yang besarnya dipengaruhi oleh total kapasitas produksi.
- *Regulated Cost (Ra)* merupakan jumlah biaya yang harus dikeluarkan setiap tahunnya dimana besarnya proporsional dengan biaya tetap.

Tabel 6. 12 fixed cost (Fa)

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depresiation</i>	Rp 1.532.889.549.082	\$ 85.631.504
2	<i>Property tax</i>	Rp 191.611.193.635	\$ 10.703.938
3	<i>Insurance</i>	Rp 191.611.193.635	\$ 10.703.938
Total		Rp 1.916.111.936.352	\$ 107.039.380

Tabel 6. 13 Regulated Cost (Ra)

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Labor</i>	Rp 19.248.000.000	\$ 1.075.247,193
2	<i>Payroll Overhead</i>	Rp 2.887.200.000	\$ 161.287
3	<i>Supervision</i>	Rp 1.924.800.000	\$ 107.525
4	<i>Plant Overhead</i>	Rp 9.624.000.000	\$ 537.624
5	<i>Laboratory</i>	Rp 1.924.800.000	\$ 107.525
6	<i>General Expense</i>	Rp 942.555.652.305	\$ 52.653.799
7	<i>Maintenance</i>	Rp 383.222.387.270	\$ 21.407.876
8	<i>Plant Supplies</i>	Rp 57.483.358.091	\$ 3.211.181
Total		Rp 1.418.870.197.666	\$ 79.262.063

Tabel 6. 14 Variable Cost (Va)

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	Rp 1.770.445.235.381	\$ 98.902.029,796
2	<i>Packaging & Shipping</i>	Rp 429.624.000.000	\$ 24.000.000
3	<i>Utility</i>	Rp 53.599.326.023	\$ 2.994.208,481
4	<i>Royalty & Patent</i>	Rp 85.924.800.000	\$ 4.800.000
Total		Rp 2.339.593.361.403	\$ 130.696.238

Tabel 6. 15 Sales Price

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
----	-------	------------	------------

1	<i>Sales Price</i>	Rp 8.592.480.000.000	\$ 480.000.000
Total		Rp 8.592.480.000.000	\$ 480.000.000

6.3.5. *Shut Down Point (SDP)*

Shut Down Point merupakan kondisi dimana pabrik mengalami kerugian sebesar *fixed cost* sehingga pabrik harus tutup. Hal ini dapat terjadi karena *Variable Cost* yang terlalu tinggi atau tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi. Persen kapasitas minimal suatu pabrik dapat mencapai kapasitas produksi yang diharapkan dalam setahun. Jika tidak menapai minimal kapasitas tersebut dalam jangka waktu satu tahun maka pabrik harus berhenti beroperasi.

$$SDP = \frac{(0.3 Ra)}{(Sa - Va - 0.7Ra)} \times 100\%$$

$$= 8.09\%$$

6.3.6. *Discount Cost Flow Rate (DCFR)*

Discounted Cash Flow Rate of Return merupakan analisis kelayakan ekonomi yang dibuat dengan menggunakan nilai mata uang yang berubah terhadap waktu dan dirasakan investasi yang tidak kembali pada akhir tahun selama umur pabrik. DCFR digunakan untuk menghitung *present value* selama umur pabrik dimana akan menghasilkan pemasukan dan pengeluaran yang berimbang. Dihitung dengan persamaan:

$$(FC + WC)(1 + i)^N = C \sum_{n=0}^{n=N-1} (1 + i)^N + WC + SV$$

Keterangan:

FC = *Fixed capital*

WC = *Working capital*

SV = *Salvage value*

C = *Cash flow: profit after taxes + depresiasi + finance*

n = Umur pabrik

I = Nilai DCFR

Salvage Value : $8\% \times \text{FCI}$
: Rp 1.532.889.549.082

Cash Flow : *Annual profit + Depresiasi + Finance*
: Rp 2.586.887.380.285

Discounted cash flow rate dihitung menggunakan *trial* dan *error*

R : Rp 46.877.405.505.094

S : Rp 46.877.405.505.094

R-S : Rp 0

Dari hasil *trial* dan *error* diperoleh:

Harga *i* : 0,0894

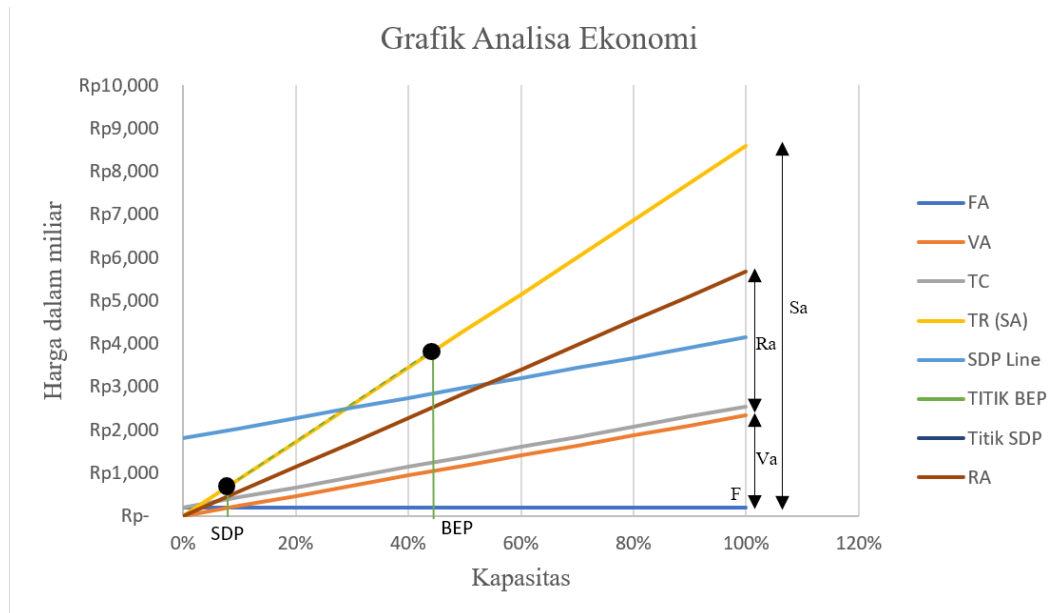
DCFR : 8,94%

Bunga bank Indonesia : 5,75%
: $1,5 \times 5,75\%$
: 8,63%

Tabel 6. 16 Kesimpulan Evaluasi Ekonomi

Kriteria	Terhitung	Persyaratan	Layak/Tidak
ROI sebelum pajak	15,23%	Pabrik resiko rendah minimal 11%, Pabrik resiko tinggi minimal 44%	Layak
POT sebelum pajak	4,31	Pabrik resiko rendah maksimal 5 tahun, Pabrik resiko tinggi maksimal 2 tahun	Layak
BEP	44,52%	40%-60%	Layak
SDP	8,09%	20-30%	Tidak layak
DCFR	8,94%	>1,5 bunga bank = minimum = 8,63%	Layak

Hasil kalkulasi kelayakan ekonomi pendirian pabrik Hidrogen Dengan Elektrolisis Air dapat di pahami melalui grafik berikut ini:



Gambar 6. 2 Grafik Analisis Ekonomi

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, Pra Rancangan Pabrik Hidrogen Menggunakan Elektrolisis Air dengan Kapasitas 20.000 ton/tahun dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pendirian pabrik Hidrogen dengan Kapasitas 20.000 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri terhadap produk ini.
2. Pabrik ini membutuhkan 34716,0472 kg/jam bahan baku untuk membentuk produk hidrogen sebesar 2525,2525 kg/jam dengan menggunakan proses elektrolisis. Perhitungan utilitas diketahui bahwa jumlah air yang dibutuhkan adalah 65452,632 kg/jam untuk kebutuhan air proses, air pendingin, dan air steam.
3. Total daya yang dibutuhkan untuk alat proses dan keperluan lain sebesar 11.000 kW.
4. Luas tanah yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik sebesar 46.707 m²
5. Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi pabrik Hidrogen didapatkan:
 - a. Keuntungan sebelum pajak Rp 2.917.904.504.578
 - b. Keuntungan setelah pajak Rp 2.188.428.378.434
 - c. *Return On Investment* (ROI)

ROI sebelum pajak sebesar 15,23%, dan ROI setelah pajak sebesar 11,42%. Syarat ROI untuk pabrik kimia dengan resiko rendah minimum adalah 11%
 - d. *Pay Out Time* (POT)

POT sebelum pajak selama 4,31 tahun dan POT setelah pajak selama 5,15 tahun. Syarat POT sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko rendah maksimum adalah 5 tahun.
 - e. *Break Event Point* (BEP)

BEP yang diperoleh sebesar 44,52%. BEP umumnya berkisar antara 40%-60%.
 - f. *Shut Down Point* (SDP)

SDP yang diperoleh sebesar 8,09%. Nilai syarat SDP untuk pabrik kimia yaitu 20%-30%.

g. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR)

DCFR yang diperoleh sebesar 8,94%. Suku bunga saat ini dari BI yaitu 8,63%. Maka syarat minimum DCFR lebih besar dari suku bunga pinjaman di bank.

6. Hasil dari keseluruhan tinjauan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Pabrik Hidrogen dengan Kapasitas 20.000 ton/tahun ini cukup layak untuk dikaji lebih lanjut dan memenuhi syarat untuk didirikan.

7.2 Saran

1. Perlu pengoptimalan dalam pemilihan alat proses dan bahan baku supaya keuntungan yang diperoleh lebih optimal.
2. Perlu pengoptimalan lebih lanjut terkait cara memisahkan H₂O dengan katalis lain saat proses elektrolisis pada reactor.
3. Alangkah baiknya pabrik ini tidak didirikan secara individu, melihat pabrik elektrolisis di luar negeri yang menjadikan elektrolisis hidrogen menjadi pabrik sampingan dan bukan pabrik utama.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S., and Newton, R.D., 1955, "Chemical Engineering Cost Estimation," McGraw-Hill Book Company, Inc., New York
- Austin, G. T. (1984). *Shreve's Chemical Process Industries* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Brownell, L.E. and Young, E.H., (1959). *Process equipment design: vessel design*. John Wiley & Sons.
- Carriveau, R., & Ting, D. S.-K. (Eds.). (2016). *Methane and Hydrogen for Energy Storage* (Power and Energy Series 101). The Institution of Engineering and Technology.
- Cavaliere, P. (2020). *Water Electrolysis for Hydrogen Production*. Springer.
- De Falco, M., Marrelli, L., & Iaquaniello, G. (Eds.). (2011). *Membrane Reactors for Hydrogen Production Processes*. Springer.
- Escue, K. (2012). *Pressure Vessel and Stacks: Field Repair Manual*. Butterworth-Heinemann.
- Godula-Jopek, A. (Ed.). (2015). *Hydrogen Production by Electrolysis*. Wiley-VCH.
- Kern, D.Q. (1985). *Process Heat Transfer*. Mc GrawHill Book Co. Ltd, New York.
- Megyesy, E. F. (2017). *Pressure Vessel Handbook* (10th ed.). Pressure Vessel Publishing.
- Perry, R.H., and Green, D., 1999, *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 3th edition, McGraw Hill, New York
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers* (Vol. 4). New York: McGraw-Hill.

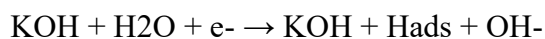
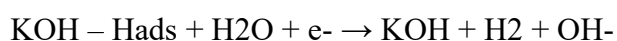
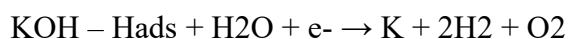
- Sherif, S. A., Goswami, D. Y., Stefanakos, E. K., & Steinfeld, A. (Eds.). (2014). *Handbook of Hydrogen Energy*. CRC Press.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & Swihart, M. T. (2018). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ulrich, Gael D, (1984). *A GUIDE TO CHEMICAL ENGINEERING PROCESS DESIGN AND ECONOMICS*. New York: John Wiley and Son.
- Yaws, C. L., Lin, X., & Bu, L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. McGraw Hill Companies Inc., USA.
- Zeng, K., & Zhang, D. (2010). *Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications*. Progress in Energy and Combustion Science.

LAMPIRAN A
Spesifikasi Reaktor

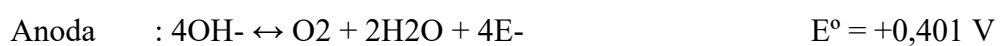
LAMPIRAN REAKTOR

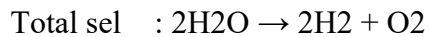
Reaktor Hidrogen	
Jenis	<i>Alkaline Water Electrolysis</i>
Fungsi	Memisahkan komponen fase cair (H ₂ O) menjadi Gas (H ₂ dan O ₂) dengan menyisakan cairan.
Tujuan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menentukan jenis reaktor. 2. Menentukan tegangan pada reaktor. 3. Menentukan muatan arus listrik pada reaktor. 4. Menentukan waktu tinggal pada reaktor 5. Menentukan daya pada reaktor. 6. Menentukan dimensi reaktor. 7. Menentukan hambatan listrik pada reaktor. 8. Menentukan jenis diafragma.
Kondisi Operasi	
Suhu	70 °C
Tekanan	1 atm
Reaksi	Endotermis
Data Katalis	
Komposisi	KOH
Bentuk	Pellet
Reaksi	Eksotermis

Reaksi yang terjadi di dalam reaktor:



Potensial sel yang dihasilkan dari pembentukan reaksi





E° (Potensial sel) = 1,229 V

A. Stoikiometri reaksi pada reaktor:

Untuk menentukan stoikiometri reaksi air yang terbentuk pada reaktor, menghitung terlebih dahulu massa produk yang dihasilkan pada pabrik tersebut:

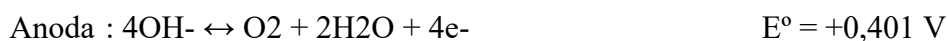
- Kapasitas produk : 20000 Ton/Tahun
- Jumlah hari kerja dalam 1 tahun : 330 hari
- 1 hari kerja : 24 jam
- Basis operasi : 1 jam
- Basis perhitungan : $20000 \text{ ton} / 1 \text{ tahun} \times 1000 \text{ kg} / 1 \text{ ton} \times 1 \text{ tahun} / 330 \text{ hari} \times 1 \text{ hari} / 24 \text{ jam} = 2525,2525 \text{ Kg/jam}$

Maka didapatkan jumlah massa produk Hidrogen yang harus dihasilkan dari reaktor elektrolisis agar produk Hidrogen hasil pemurnian dapat mencapai sebesar 2525,2525 kg/jam atau 20000 ton/tahun.

	H_2O	$\xrightarrow{-\text{H}_2} +$	$\frac{1}{2} \text{O}_2$
Mula-mula	1927,8360	-	-
Bereaksi	1252,6800	1252,6800	1252,6800
Setimbang	674,1560	1252,6800	1252,6800A

B. Tegangan pada Reaktor

Potensial sel diperoleh dengan mengurangi potensial reduksi katoda dan potensial reduksi anoda.



$$E_{sel}^{\circ} = E_{katoda}^{\circ} - E_{anoda}^{\circ}$$

Total sel : $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$

$$E_{sel}^{\circ} = (-0,828 \text{ V}) - (+0,401 \text{ V}) = -1,229 \text{ V} \approx 1,23 \text{ V}$$

Artinya, kita membutuhkan tegangan reaktor minimal 1,23 V agar proses elektrolisis dapat berjalan. Pada dasarnya, kita membutuhkan tegangan reaktor yang lebih besar dari nilai yang dihitung atau disebut *Overvoltage*. *Overvoltage* merupakan tegangan ekstra yang ditambahkan di atas 1,23 V yang diperlukan untuk mengatasi hambatan seperti energi aktivasi yang besar untuk pembentukan gas. Sehingga nilai tegangan ideal agar proses elektrolisis dapat menghasilkan gas dengan konstan minimum yang diperlukan sebesar 2,82 Volt.

C. Muatan Arus Listrik pada Reaktor

Nilai muatan arus listrik dapat dihitung berdasarkan perpindahan jumlah muatan Hidrogen untuk berikatan dengan elektron sehingga membentuk H_2 . Berdasarkan stoikiometri reaksi, jumlah H_2 yang terkonversi pada reaktor elektrolisis adalah sebesar 347,9667 mol/s.

$$I = n \cdot z \cdot F$$

Keterangan data:

Kuat Arus Listrik (I) = ?

Konstanta Faraday (F) = 96.485,3321 C/mol.

Jumlah elektron (z) = 2

Laju alir mol elektron (n) = 347,9667 mol/s

Dengan data-data diatas, dihasilkan muatan arus listrik reaktor pada hidrogen sebesar 67147358 Ampere atau 67147,3579 kA.

Untuk menghindari adanya electricity loss pada masing-masing reaktor pada saat berlangsungnya proses elektrolisis, maka arus yang mengalir pada reaktor harus dikoreksi dengan menghitung kembali arus berdasarkan efisiensi arus, di mana efisiensi arus sebesar 90 %.

$$I \text{ Aktual} = I / \text{Efisiensi}$$

Dengan menemukan total arus yang ada, ditemukan nilai Arus actual sebesar 74608,1754 kA.

Sebelum menentukan dimensi reaktor, dapat menghitung terlebih dahulu sel reaktor elektrolisis untuk menentukan setiap tegangan dan daya listrik yang ada.

1. Menentukan Jumlah Sel

Untuk mengetahui banyaknya sel pada reaktor, dapat menentukan arus per sel dengan persamaan:

$$N_{sel} = \frac{I_{total}}{I_{sel}}$$

Keterangan:

Jumlah sel yang digunakan (N sel) = ?

Total kuat arus (I total) = 67.147.358 A

Kuat arus tiap sel (I sel) = 2.000 A

Dengan menggunakan data yang sudah ditentukan, dihasilkan jumlah total sel sebesar 33.574 sel.

2. Jumlah Stack atau Reaktor yang dibutuhkan

Setiap reaktor memiliki batas maksimal sel yang dapat ditampung,

$$N_{stack} = \frac{N_{sel}}{N_p}$$

Keterangan:

Jumlah stack atau Reaktor (N_{stack}) = ?

Jumlah sel yang digunakan (N_{sel}) = 33.574 sel

Total sel tiap stack standar industri (N_p) = 100 sel

Dengan menggunakan standar industri, dapat mengetahui reaktor yang akan digunakan untuk memproses elektrolisis sebanyak 335,737 atau 336 buah.

3. Tegangan Stack

Reaktor sendiri memiliki tegangan yang dibutuhkan untuk menjalankan proses elektrolisis, dimana mengetahui tegangan reaktor dengan persamaan:

$$V_{stack} = N_{stack} \times V_{sel}$$

Keterangan:

Tegangan stack atau reaktor (V_{stack}) = ?

Jumlah stack (N_{stack}) = 335,737

Tegangan tiap sel (V_{sel}) = 2 V

Ditemukan nilai tegangan reaktor yang dibutuhkan sebesar 671,4736 Volt

4. Daya Listrik pada sel

Untuk menentukan daya listrik setiap sel pada reaktor, memerlukan nilai tegangan dan kuat arus yang dibutuhkan, dengan rumus:

$$P = V \times I$$

Keterangan:

Daya listrik tiap sel (P) = ?

Tegangan listrik tiap sel (V) = 2 V

Total kuat arus (I) = 67.147 kA

Dengan mengetahui persamaan dan data yang ada, ditemukan daya listrik setiap sel sebesar 134.294,716 kA atau 134,29 MW.

5. Luas Permukaan Elektroda (A)

Dengan data yang sudah didapatkan sebelumnya, dapat mengetahui beberapa nilai dimensi reaktor yang diperlukan, dengan persamaan:

$$A = \frac{I}{J}$$

Keterangan:

Luas Permukaan Elektroda (A) = ?

Total kuat arus (I) = 67.147.358 A

Rapat Arus / *Current Density* (J) = 2,5 A/cm²

Menggunakan rapat arus standar industri perkiraan 1,5 sampai 2,5 A/cm².

Ditemukan luas permukaan elektroda sebesar 26.858.943 cm² atau 2.685,8943 m².

6. Volume Reaktor (V)

Volume reaktor ditentukan dengan luas permukaan elektroda yang sudah dicari dan jarak antar elektroda mengikuti standar industri, dengan rumus:

$$V_{elektrolit} = A_{total} \times d$$

Keterangan:

$$\text{Volume Elektrolit} = ?$$

$$\text{Luas Permukaan Elektroda (A)} = 26.858.943 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jarak antar Elektroda (d)} = 0,4 \text{ cm}$$

Ditemukan hasil volume elektrolit sebesar 10.743.577,26 cm³ atau 10,7436 m³. Dengan menemukan volume elektrolit, dapat mengetahui volume total reaktor dengan faktor keamanan perkiraan 40% sampai 50% dan hasilnya 16,1154 m³.

7. Konfigurasi Elektroda

Reaktor elektrolisis dengan kapasitas air yang besar menggunakan bipolar stack, dengan 1m x 1m (1m² per sisi atau 2 m² aktif per plat). Dengan sudah ditentukan luas permukaan sebesar 2685,8943 m² dan masing-masing 2 m² setiap plat, ditemukan jumlah plat yang akan digunakan sebanyak 1343 plat.

D. Dimensi Reaktor

Untuk membentuk dimensi pada reaktor, mengetahui terlebih dahulu banyaknya umpan yang digunakan hidrogen dalam reaktor sebesar 2525,2525 kg/jam.

$$\text{Umpan masuk Reaktor} = 2525,2525 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Volume} = 2525,2525/1000 = 2,5253 \text{ m}^3$$

Dimensi Reaktor dihitung dengan rumus:

Untuk menentukan dimensi reaktor yang digunakan, dapat menghitung terlebih dahulu data-data seperti tingkat produksi hidrogen, tingkat arus yang diperlukan untuk menjalankan reaktor dan menghitung luas cell.

Dimensi Reaktor

Reaktor elektrolisis menggunakan alat dari *Ineos Electrochemical Solutions* menyesuaikan dengan kapasitas yang ada dan ukuran membrane (Zeng, K., 2010) perkiraan 1-3 m², maka dimensi reaktor yang didapat adalah sebagai berikut :

Data Dimensi Reaktor

Luas Elektroda = 2685,8943 m²

Current density = 2,5 A/m²

Jarak antar Elektroda = 1,5 m²

Volume reaktor ≈ 16,1154 m³

Jumlah plat (1 x 1 m) = 1343 unit

Konfigurasi = Bipolar Stack

E. Hambatan Listrik pada Reaktor

Proses pembentukan hidrogen dalam reaktor pada dasarnya memiliki hambatan listrik, terutama menambahkan katalis KOH sebagai elektrolit yang membantu pembentukan dari air menjadi hidrogen dan oksigen. Menghitung hambatan listrik dapat dilakukan dengan rumus:

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

Keterangan:

Hambatan Listrik (R) = ?

Hambatan jenis bahan/Resistivity (ρ) = ?

Jarak kutub (L) = 0,0004 m

Luas elektroda (A) = 2685,8943 m²

Dengan belum diketahui hambatan jenis bahan, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{1}{K}$$

Keterangan:

Hambatan jenis bahan/Resistivity (ρ) = ?

Konduktivitas KOH (K) = ?

Menentukan konduktivitas KOH sendiri dapat menggunakan persamaan:

$$K = \text{Konduktivitas molar KOH} \times \text{Konsentrasi KOH}$$

Keterangan:

Konduktivitas molar KOH = 25 g/L

Konsentrasi KOH = 56 g/mol

Dari persamaan diatas, dihasilkan konduktivitas KOH (K) sebesar 0.4464

$$\rho = \frac{1}{0,4464}$$

Setelah mendapatkan hasil dari Konduktivitas KOH, dapat mengetahui hambatan jenis bahan dengan menggunakan data dari konduktivitas KOH dan ditemukan nilai hambatan jenis bahan sebesar 2,24 Ωm .

Dengan menemukan hasil kedua persamaan yang dibutuhkan untuk mencari hambatan listrik, dapat dihitung:

$$R = 2,24 \Omega\text{m} \times \frac{0,0004 \text{ m}}{2685,8943 \text{ m}^2}$$

Dari persamaan dan data yang sudah didapatkan, dihasilkan hambatan listrik pada reaktor sebesar 3,3359E-07 Ω .

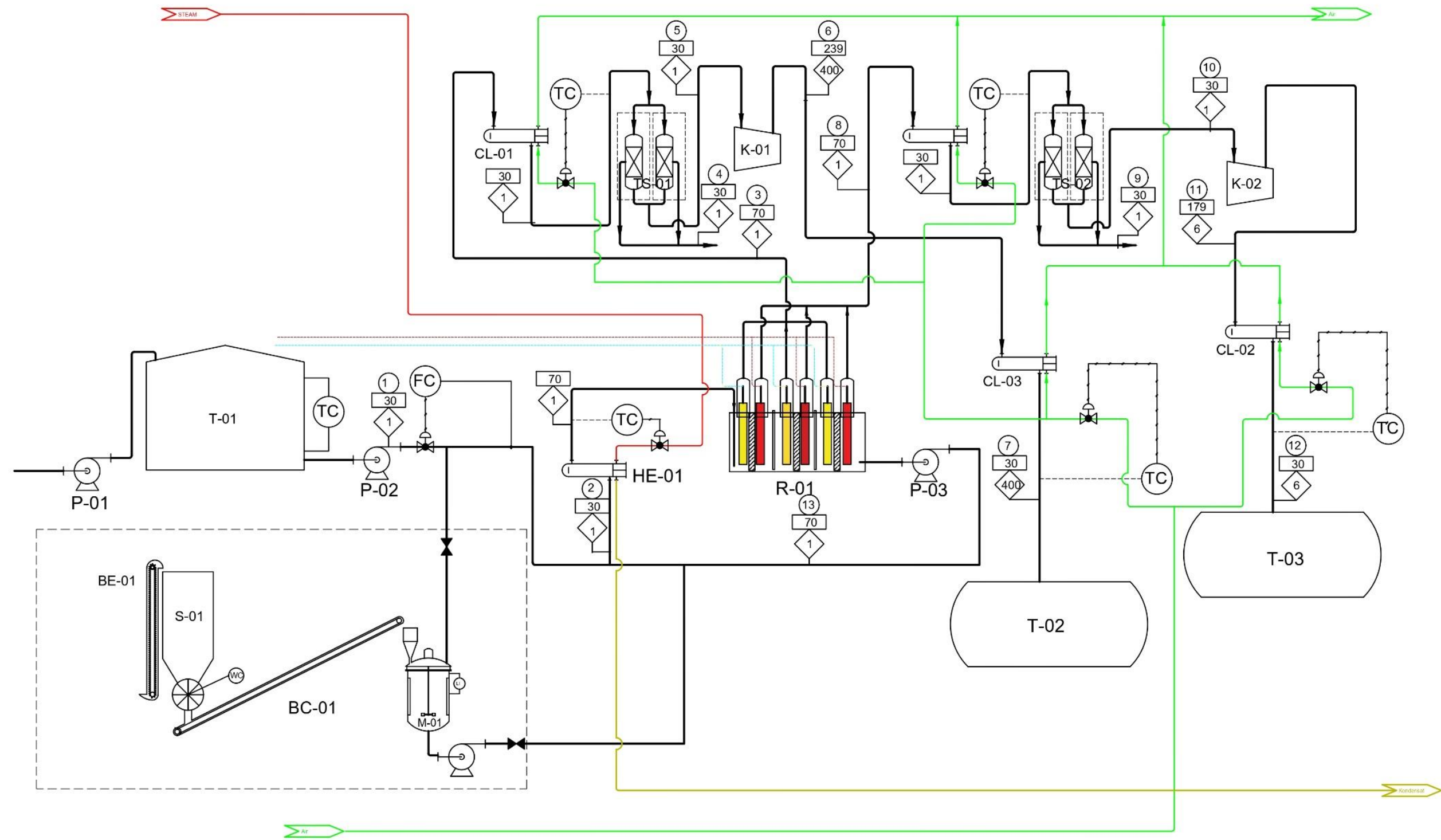
F. Jenis Diafragma

Pada pembentukan reaksi dari air menjadi hidrogen dan oksigen, memerlukan sel diafragma untuk memisahkan ruang katoda dari ruang anoda dengan selaput berpori yang dapat dilalui ion-ion. Sel diafragma terbuat dari bahan polimer yang dapat menghantarkan listrik tanpa menghambat proses elektrolisis.

Nama	: <i>Alkaline Electrolysis Water</i>
Tegangan	: 600 V (Disesuaikan)
Konsentrasi	: 35 mol/m ³
Ukuran	: 2685,8943 m ² (dengan jumlah Plat 1343 unit)
Tekanan	: Rendah
Suhu	: 70 °C

LAMPIRAN B
Process Engineering Flow Diagram (PEFD)

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK HIDROGEN DENGAN ELEKTROLISIS AIR
KAPASITAS : 20.000 ton/tahun



LAMPIRAN C

Kartu Konsultasi Bimbingan Prarancangan

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

1. Nama Mahasiswa : Rosma Nuraini
NIM : 19521039

2. Nama Mahasiswa : Faris El Hakim
NIM : 19521192

Judul Prarancangan *) : PRA RANCANGAN PABRIK HIDROGEN
MENGGUNAKAN PROSES ELEKTROLISIS
AIR KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN

Mulai Masa Bimbingan : 10 Oktober 2023
Akhir Masa Bimbingan : 12 Oktober 2026

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	29/10/2023	Ganti judul dan pergantian dosen	JP
2	27/12/2023	Kapasitas Pabrik	JP
3	11/10/2024	Kinetika dan Termodinamika	JP
4	7/03/2024	Sifat fisis dan Neraca Massa	JP
5	22/03/2024	Perhitungan alat	JP
6	3/10/2025	Membahas word dan pembagian tugas excel	JP
7	10/10/2025	Membahas tangki penyimpanan dan pompa	JP
8	13/02/2026	Pergantian tangki penyimpanan	JP
9	16/04/2026	Penjelasan Excel pompa	JP
10	24/06/2026	Pembahasan Naskah	JP

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 02 Juli 2026

Pembimbing,

Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc.