

**PRARANCANGAN PABRIK BIOHIDROGEN DARI *DOMESTIC*
WASTEWATER DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI
KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Kimia**



Oleh :

Nama : Luthfi Nabila Nur Afifah

Nama : Isna Tita Safira

NIM : 18521083

NIM : 18521092

**KONSENTRASI TEKNIK KIMIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRARANCANGAN PABRIK BIOHIDROGEN DARI *DOMESTIC* WASTEWATER DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Luthfi Nabila Nur Afifah Nama : Isna Tita Safira
No. Mahasiswa : 18521083 No. Mahasiswa : 18521092

Yogyakarta, 25 Juli 2022

Menyatakan bahwa seluruh hasil perancangan pabrik 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 kami tuliskan, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mahasiswa 1,



Luthfi Nabila Nur Afifah

Mahasiswa 2,



Isna Tita Safira

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK BIOHIDROGEN DARI *DOMESTIC* WASTEWATER DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Luthfi Nabila Nur Afifah

Nama : Isna Tita Safira

No. Mahasiswa : 18521083

No. Mahasiswa : 18521092

Yogyakarta, 25 Juli 2022

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D.



Lucky Wahyu Nuzulia, S.T., M.Eng.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK BIOHIDROGEN DARI *DOMESTIC WASTEWATER* DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Luthfi Nabila Nur Afifah Nama : Isna Tita Safira
No. Mahasiswa : 18521083 No. Mahasiswa : 18521092

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

Tim Penguji,

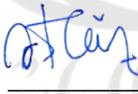
Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D.
Ketua

 16 Agustus 2022

Tintin Mutiara, S.T., M.Eng.
Anggota I

 10 Agustus 2022

Umi Rofiqah, S.T., M.T.
Anggota II

 15 Agustus 2022

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia




Dr. Suharno Rusdi

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr., Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad S.A.W, sahabat serta para pengikutnya. Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Biohidrogen dari *Domestic Wastewater* dengan Proses Elektrokoagulasi Kapasitas 5.000 Ton/Tahun”, disusun sebagai implementasi dari ilmu teknik kimia yang telah didapatkan dan dipelajari selama kuliah serta menjadi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Keberhasilan penyusunan laporan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar berkat bimbingan, dorongan, dan bantuan dari berbagai pihak baik secara material maupun non-material “spiritual”. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, yang selalu melimpahkan Rahmat dan Hidayah sehingga penulis diberikan kekuatan, kemudahan, kemampuan, dan semangat dalam setiap langkahnya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Orang Tua dan Keluarga yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan dukungan yang tiada hentinya.

3. Bapak Hari Purnomo, Prof., Dr., Ir., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Suharno Rusdi selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Lucky Wahyu Nuzulia, S.T., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang senantiasa memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh civitas akademika di lingkungan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
7. Teman-teman Teknik Kimia 2018 yang tidak pernah lelah memberikan dukungan, semangat, dan bantuan.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini hingga selesai.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dapat menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak, terutama bagi para pembaca serta penyusun, Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr., Wb.

Yogyakarta, 25 Juli 2022

LEMBAR PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Sri Ismawati dan Junaidi M Dina yang selalu mendukung dan mempercayai keputusan saya, mendoakan, menyemangati, serta selalu mengapresiasi pencapaian saya selama ini. Terima kasih atas semuanya.
2. Mbak dan adik saya, Meily Dewi Arimbi dan Yudhistira Alfarizi yang selalu bersedia membantu saya jika saya memerlukan sesuatu dan mengurus urusan kuliah.
3. Mbah putri, nekwan dan nek aki yang selalu mendoakan dari jauh untuk kelancaran studi saya dan selalu mendoakan yang terbaik untuk saya.
4. Luthfi Nabila Nur Afifah, partner tugas akhir yang berawal dari partner lomba. Terima kasih atas kerja samanya selama ini, telah saling melengkapi kekurangan satu sama lain dan tetap fokus dengan target yang telah ditentukan sejak awal.
5. Teman daerah, Melisa serta teman kuliah terutama Addin, Zhavira, Rizka, Silvi, Sakila, Amany yang telah mengisi waktu kuliah saya menjadi lebih menyenangkan dan berwarna.
6. Teman seangkatan dan kakak tingkat yang sedikit banyak telah membantu saya selama perkuliahan dari semester satu dan juga bersedia bertukar ilmu, mengajari, dan memberikan materi belajar sehingga saya menjadi lebih paham akan materi mata kuliah serta dalam pengerjaan tugas akhir.

(Isna Tita Safira)

LEMBAR PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya yakni Bapak Teguh Wibowo dan Ibu Agus Yuliati yang tidak pernah lelah memberikan doa, dukungan, fasilitas, dan semangat kepada saya sehingga saya dapat berkuliah di Teknik Kimia UII selama hampir 4 tahun ini tanpa adanya kendala suatu apapun dan dapat menyelesaikan semua tugas serta kewajiban saya sebagai mahasiswa.
2. Kakek dan nenek, adik-adik tersayang, om dan tante yang selalu memberikan dukungan serta doa yang senantiasa dipanjatkan untuk kebaikan studi dan masa depan saya.
3. Partner Tugas Akhir saya, Isna Tita Safira yang sudah bersedia bekerja sama dan bekerja keras untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sungguh-sungguh serta telah bersedia melalui masa-masa sulit bersama dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Orang-orang terdekat saya yang senantiasa memberikan semangat, bantuan dan tentunya mendoakan satu sama lain agar Tugas Akhir ini dapat diselesaikan secepatnya.
8. Teman seangkatan dan kakak tingkat yang memberikan bantuan dan supportnya serta Almamater UII tercinta yang telah mengisi hari-hari saya selama kuliah dengan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat tentunya demi masa depan saya.

(Luthfi Nabila Nur Afifah)

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	vii
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
ABSTRAK	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik	3
1.3 Tinjauan Pustaka.....	10
1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika	21
BAB II PERANCANGAN PRODUK.....	24

2.1	Spesifikasi Produk	24
2.2	Spesifikasi Bahan Baku	24
2.3	Pengendalian Kualitas.....	26
BAB III PERANCANGAN PROSES		29
3.1	Diagram Alir Proses dan Materi.....	29
3.2	Uraian Proses.....	32
3.3	Spesifikasi Alat.....	37
3.4	Neraca Massa	55
3.5	Neraca Panas	60
BAB IV PERANCANGAN PABRIK		64
4.1	Lokasi Pabrik.....	64
4.2	Tata Letak Pabrik.....	67
4.3	Tata Letak Mesin/Alat Proses	72
4.4	Organisasi Perusahaan	74
BAB V UTILITAS		89
5.1.	Unit Penyediaan dan Pengolahan Air	89
5.2.	Unit Penyedia Udara Tekan	97
5.3.	Unit Penyedia Listrik	98

5.4.	Unit Penyedia Bahan Bakar	100
5.5.	Unit Pengolahan Limbah	100
BAB VI EVALUASI EKONOMI		102
6.1	Penentuan Harga Alat	103
6.2	Dasar Perhitungan.....	108
6.3	Perhitungan Biaya.....	108
6.4	Analisa Kelayakan	110
6.5	Hasil Perhitungan	112
BAB VI PENUTUP		118
7.1.	Kesimpulan.....	118
7.2.	Saran	119
DAFTAR PUSTAKA		113
LAMPIRAN A		A-1
LAMPIRAN B.....		B-1
LAMPIRAN C.....		C-1

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data impor hidrogen di Indonesia	3
Tabel 1. 2 Nilai persen pertumbuhan	4
Tabel 1. 3 Nilai estimasi impor	4
Tabel 1. 4 Data produksi hidrogen di Indonesia.....	5
Tabel 1. 5 Nilai estimasi produksi hidrogen di Indonesia.....	5
Tabel 1. 6 Data ekspor hidrogen di Indonesia	6
Tabel 1. 7 Estimasi ekspor hidrogen di Indonesia	6
Tabel 1. 8 Data konsumsi hidrogen di Indonesia	7
Tabel 1. 9 Hasil peramalan jumlah konsumsi	8
Tabel 1. 10 Data produsen hidrogen di dunia	9
Tabel 1. 11 Perbandingan proses produksi biohidrogen	18
Tabel 1. 12 Keunggulan dan kekurangan proses produksi biohidrogen	19
Tabel 2. 1 Data spesifikasi produk.....	24
Tabel 2. 2 Data spesifikasi bahan baku	24
Tabel 2. 3 Komponen dalam limbah air domestik.....	25
Tabel 2. 4 Karakteristik limbah air domestik	26
Tabel 3. 1 Spesifikasi Sumur Pengumpul	37
Tabel 3. 2 Spesifikasi reaktor	42
Tabel 3. 3 Spesifikasi Tangki H ₂	45

Tabel 3. 4 Spesifikasi Kompresor.....	50
Tabel 3. 5 Spesifikasi <i>Blower</i>	50
Tabel 3. 6 Spesifikasi Pompa	51
Tabel 3. 7 Spesifikasi <i>Cooler-01</i>	53
Tabel 3. 8 Spesifikasi <i>Cooler-02</i>	54
Tabel 3. 9 Neraca massa total.....	55
Tabel 3. 10 Neraca massa <i>Screen Chamber</i>	56
Tabel 3. 11 Neraca massa <i>Grit Chamber</i>	56
Tabel 3. 12 Neraca massa Reaktor	57
Tabel 3. 13 Neraca massa Separator	57
Tabel 3. 14 Neraca massa Adsorber	58
Tabel 3. 15 Neraca massa Tangki Aerasi.....	58
Tabel 3. 16 Neraca massa <i>Settling Tank</i>	59
Tabel 3. 17 Neraca massa <i>Sludge</i>	59
Tabel 3. 18 Neraca massa Bak Klorinasi	60
Tabel 3. 19 Neraca panas <i>Screen Chamber (SC-01)</i>	60
Tabel 3. 20 Neraca panas <i>Grit Chamber (GC-01)</i>	61
Tabel 3. 21 Neraca panas Reaktor (R-01).....	61
Tabel 3. 22 Neraca panas Separator (S-01).....	61
Tabel 3. 23 Neraca panas Kompresor (C-01).....	61
Tabel 3. 24 Neraca panas <i>Cooler (CL-01)</i>	62
Tabel 3. 25 Neraca panas Adsorber (AD-01).....	62

Tabel 3. 26 Neraca panas Kompresor (C-02).....	62
Tabel 3. 27 Neraca panas <i>Cooler</i> (CL-02)	62
Tabel 3. 28 Neraca panas Tangki Aerasi (AT-01).....	63
Tabel 3. 29 Neraca panas <i>Settling Tank</i> (ST-01).....	63
Tabel 3. 30 Neraca panas Bak Klorinasi (BK-01).....	63
Tabel 4. 1 Perincian luas tanah.....	70
Tabel 4. 2 Pembagian tenaga kerja shift tiap regu.....	84
Tabel 4. 3 Jumlah dan jenjang pendidikan tenaga kerja	84
Tabel 4. 4 Daftar gaji karyawan sesuai jabatan.....	85
Tabel 5. 1 Kebutuhan air pabrik biohidrogen.....	89
Tabel 5. 2 Kualitas air olahan dan standar baku mutu air domestik – sanitasi	90
Tabel 5. 3 Kebutuhan air pendingin.....	91
Tabel 5. 4 Kebutuhan air domestik	92
Tabel 5. 5 Kebutuhan air servis	93
Tabel 5. 6 Spesifikasi alat netralisasi asam	94
Tabel 5. 7 Spesifikasi pompa utilitas	95
Tabel 5. 8 Spesifikasi tangki utilitas	97
Tabel 5. 9 Spesifikasi kompresor dan blower	98
Tabel 5. 10 Kebutuhan listrik peralatan proses	98
Tabel 5. 11 Kebutuhan listrik peralatan utilitas.....	99
Tabel 5. 12 Total kebutuhan listrik pabrik Biohidrogen.....	99
Tabel 6. 1 Indeks harga	103

Tabel 6. 2 Harga alat proses	106
Tabel 6. 3 Harga alat utilitas	107
Tabel 6. 4 <i>Physical plant cost</i>	112
Tabel 6. 5 <i>Direct plant cost</i>	112
Tabel 6. 6 <i>Fixed capital investment</i>	113
Tabel 6. 7 <i>Direct manufacturing cost</i>	113
Tabel 6. 8 <i>Indirect manufacturing cost</i>	113
Tabel 6. 9 <i>Fixed manufacturing cost</i>	113
Tabel 6. 10 <i>Manufacturing cost</i>	113
Tabel 6. 11 <i>Working capital</i>	114
Tabel 6. 12 <i>General expenses</i>	114
Tabel 6. 13 Total biaya produksi	114
Tabel 6. 14 <i>Fixed cost</i>	114
Tabel 6. 15 <i>Variable cost</i>	114
Tabel 6. 16 <i>Regulated cost</i>	115
Tabel A. 1 Penjadwalan reaktor (versi 1).....	A-10
Tabel A. 2 Penjadwalan reaktor (versi 2).....	A-11

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Jenis proses produksi biohidrogen.....	11
Gambar 1. 2 Proses fotofermentasi oleh bakteri fotosintetik.....	13
Gambar 1. 3 Mekanisme proses elektrokoagulasi.....	15
Gambar 3. 1 Diagram alir kualitatif.....	30
Gambar 3. 2 Diagram alir kuantitatif.....	31
Gambar 4. 1 Lokasi pendirian pabrik biohidrogen.....	67
Gambar 4. 2 Layout pabrik biohidrogen.....	71
Gambar 4. 3 Layout alat proses.....	74
Gambar 4. 4 Bagan struktur organisasi perusahaan pabrik biohidrogen.....	82
Gambar 6. 1 Grafik hubungan tahun terhadap index CEPCI.....	105
Gambar 6. 2 Grafik hasil analisa ekonomi.....	117

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	A-1
LAMPIRAN B.....	B-1
LAMPIRAN C.....	C-1



ABSTRAK

Penggunaannya yang luas di berbagai sektor kehidupan terutama industri menyebabkan tingginya kebutuhan hidrogen di dalam negeri. Kebutuhan hidrogen tidak hanya dipenuhi dari pabrik hidrogen dalam negeri melainkan dari hasil kegiatan impor. Pendirian pabrik Biohidrogen dengan kapasitas 5.000 ton/tahun berbahan baku air limbah domestik dapat menjadi solusi pemenuhan kebutuhan hidrogen dalam negeri dan sebagai upaya pemanfaatan air limbah domestik agar mengurangi risiko pencemaran air bersih. Pabrik beroperasi secara kontinu selama 330 hari/tahun. Pabrik Biohidrogen direncanakan akan dibangun di Bojongmangu, Kecamatan Pameungpeuk, Kabupaten Bandung, Jawa Barat dengan luas lahan sebesar 49.000 m². Biohidrogen diproduksi dengan menggunakan reaktor elektrokoagulasi yang beroperasi pada suhu 25°C dan tekanan 1 atm. Kemudian dilanjutkan pemisahan gas H₂ melalui separator dan proses adsorpsi untuk memperoleh gas H₂ dengan kemurnian 99,99%. Untuk menghasilkan hidrogen selama satu kali reaksi diperlukan input air limbah domestik sebanyak 15.057,65 kg/jam yang sebelumnya sudah dilakukan *treatment* dengan beberapa alat proses seperti *screen chamber* dan *grit chamber*. Selain hidrogen, didapatkan output berupa air bersih yang dimanfaatkan sebagai penyedia kebutuhan air bersih pabrik. Kebutuhan listrik pabrik dipasok dari PLN dengan total daya sebesar 52.084,15 kW. Agar dapat beroperasi, pabrik Biohidrogen membutuhkan modal tetap sebesar Rp 635.944.741.922,73 dan modal kerja sebesar Rp 96.018.858.346,38. Hasil analisis berdasarkan ketersediaan bahan baku, peluang penjualan produk, dan kondisi operasi yang dijalankan, maka pabrik tergolong berisiko rendah. Dari evaluasi ekonomi didapatkan nilai ROIb 19,60%, POTb 3,38 tahun, BEP 41,87%, SDP 10,73%, dan DCFR 18,52% sehingga dapat disimpulkan bahwa pabrik layak untuk berdiri.

Kata kunci : anoda, biohidrogen, elektrokoagulasi, limbah domestik, anoda, pemisahan gas

ABSTRACT

Its wide use in various sectors of life, especially industry, causes the high national demand for hydrogen. Hydrogen demands are not only fulfilled by domestic hydrogen plants but also by imports. The pre-design of a Biohydrogen plant with a capacity of 5,000 tons/year made from domestic wastewater can be the answer to meet domestic hydrogen needs and utilize domestic wastewater to reduce the risk of water pollution. The factory operates continuously for 330 days a year. It is planned to be built in Bojongmanggu, Pameungpeuk District, Bandung Regency, West Java with a total area of 49,000 m². Biohydrogen is produced using an electrocoagulation reactor which operates at a temperature of 25°C and a pressure of 1 atm. The separation of H₂ gas through a separator and the adsorption process is needed to obtain H₂ gas with a purity of 99.99%. An input of 15,057.65 kg/hour of domestic wastewater, which has previously been treated with several process tools such as a screen chamber and a grit chamber, is required for one reaction cycle time. In addition to hydrogen, treated clean water is also produced from the plant which can later be used as a clean water supply for the plant's operation. The electricity needs are supplied from PLN with a total power of 52,084.15 kW. To operate, the Biohydrogen plant requires a fixed capital of IDR 635,944,741,922.73 and a working capital of IDR 96,018,858,346.38. The results of the analysis based on the availability of raw materials, product sales opportunities, and operating conditions conclude that the plant is classified as a low-risk factory. From the economic evaluation, the ROI_b value is 19.60%, POT_b 3.38 years, BEP 41.87%, SDP 10.73%, and DCFR 18.52%. This shows that the biohydrogen plant is feasible to be built.

Keywords: biohydrogen, domestic wastewater, electrocoagulation, anode, hydrogen recovery

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laporan demografi dari Kementerian Dalam Negeri menyatakan bahwa jumlah penduduk di Indonesia sebanyak 272.229.372 jiwa per Juni 2021. Dari data tersebut, Indonesia menempati urutan ke-4 dengan jumlah penduduk terbanyak di dunia. Angka yang sudah mencapai 272 juta tersebut dipicu oleh kenaikan jumlah penduduk sebesar 1,25 % per tahun dalam 10 tahun terakhir. Faktor utama yang mendorong kenaikan jumlah penduduk di Indonesia antara lain seperti banyaknya jumlah kelahiran dan migrasi. Padatnya jumlah penduduk di suatu negara tentu saja banyak membawa dampak terhadap kehidupan negara tersebut, salah satunya yaitu permasalahan lingkungan. Limbah merupakan zat pencemar yang banyak dihasilkan dari aktivitas manusia setiap harinya. Jenis limbah yang paling banyak dihasilkan dari berbagai sektor kegiatan seperti rumah tangga, penginapan, perkantoran, rumah makan, asrama dan perniagaan adalah air limbah yang disebut sebagai air limbah domestik (*domestic wastewater*). Dengan meningkatnya populasi manusia saat ini maka semakin banyak pula jumlah air limbah domestik yang dihasilkan setiap harinya.

Berdasarkan standar dari WHO pada beban pemakaian air sebanyak 200 liter per orang per hari maka kadar BOD dalam air limbah domestik sebesar 300 ppm (mg/ liter). Pengelolaan limbah cair domestik yang belum dilaksanakan dengan baik dan benar menjadikan naiknya nilai BOD pada daerah-daerah pembuangan limbah

seperti badan air dan sungai yang berakibat pada penurunan kualitas air yang mengakibatkan berkurangnya jumlah air bersih, penurunan kualitas udara akibat bau yang ditimbulkan dari limbah, serta menjadi ancaman bagi ekosistem yang hidup di dalamnya. Selain dengan meningkatkan kualitas pengelolaan dan pengolahan limbah cair, pemanfaatan limbah cair domestik sebagai bahan baku pembuatan biohidrogen dapat menjadi salah satu alternatif dalam mengatasi masalah pencemaran lingkungan akibat limbah cair domestik. Hal tersebut sejalan dengan banyaknya kebutuhan hidrogen di dalam negeri setiap tahunnya.

Di era krisis energi saat ini pemanfaatan hidrogen sebagai salah satu Energi Baru Terbarukan sedang banyak dikembangkan. Hidrogen dapat dijadikan sebagai bahan bakar pengganti fosil yang memiliki prospek besar dalam menyediakan cadangan energi di masa depan. Di samping jumlahnya yang melimpah, hidrogen dapat menjadi bahan bakar yang rendah emisi sehingga dapat menurunkan emisi gas rumah kaca yang telah membawa efek besar terhadap kehidupan di bumi. Selain sebagai bahan bakar, hidrogen banyak digunakan dalam industri perminyakan, industri petrokimia, dan industri manufaktur. Untuk dapat terus memenuhi kebutuhan hidrogen yang cukup besar, maka perlu dilakukan upaya peningkatan produksi hidrogen dalam negeri dengan mendirikan pabrik hidrogen. Produksi hidrogen yang memanfaatkan air limbah domestik sebagai bahan bakunya dapat menjadi salah satu usaha yang mendukung upaya pemanfaatan limbah dalam negeri untuk dijadikan produk yang memiliki nilai guna tinggi dan sebagai alternatif dalam mengatasi pencemaran lingkungan. Pendirian pabrik ini akan membawa keuntungan dan manfaat yang besar bagi negara karena bahan baku yang melimpah

serta menghasilkan produk yang dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kualitas hidup masyarakat.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Pada pendirian pabrik biohidrogen berbahan baku air limbah domestik, umumnya penentuan kapasitas pabrik ditentukan dengan analisis ketersediaan dan kebutuhan (*supply and demand*).

1.2.1 Ketersediaan Hidrogen di Indonesia

a. Impor

Tabel 1.1 menunjukkan data impor hidrogen dari tahun 2014 – 2020 (Badan Pusat Statistik, 2021).

Tabel 1. 1 Data impor hidrogen di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2014	2.081,62
2015	1.960,54
2016	1.925,96
2017	2.338,02
2018	2.375,11
2019	367,53
2020	538,84

Dari data impor tersebut dapat dilihat bahwa nilai impor hidrogen setiap tahunnya tidak stabil atau fluktuatif. Untuk memperkirakan kebutuhan impor pada tahun 2028 dilakukan dengan menggunakan nilai rata-rata pertumbuhan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ pertumbuhan} = \frac{(\text{konsumsi tahun } n - \text{konsumsi tahun } n - 1)}{\text{konsumsi tahun } n - 1} \times 100 \quad (1.1)$$

Tabel 1. 2 Nilai persen pertumbuhan

Tahun	Impor (ton)	% pertumbuhan
2014	2.081,62	
2015	1.960,54	-5,82
2016	1.925,96	-1,76
2017	2.338,02	21,39
2018	2.375,11	1,59
2019	367,53	-84,52
2020	538,84	46,61
Rata-rata		-3,75

Diperoleh nilai rata-rata pertumbuhan sebesar -3,75 % per tahun.

Dengan nilai tersebut maka diperkirakan bahwa impor hidrogen pada tahun-tahun mendatang adalah sebagai berikut :

Tabel 1. 3 Nilai estimasi impor

Tahun	Estimasi Impor (ton/tahun)
2021	518,62
2022	499,16
2023	480,43
2024	462,40
2025	445,05
2026	428,35
2027	412,27
2028	396,80

Perkiraan nilai impor pada tahun 2028 adalah sebesar 396,8 ton.

b. Produksi

Data produksi hidrogen di dalam negeri beberapa tahun terakhir berdasarkan Badan Pusat Statistik dapat dilihat pada Tabel 1.4 berikut:

Tabel 1. 4 Data produksi hidrogen di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2011	4.759,36
2012	1.026,82
2013	6,77
2018	10,28
2019	11,70

Dari data tersebut, produksi hidrogen di dalam negeri cenderung menurun pada tahun-tahun awal. Untuk memperkirakan jumlah produksi hidrogen pada tahun 2028 maka dilakukan dengan metode peramalan atau *forecasting*. *Forecasting* merupakan teknik yang digunakan untuk memperkirakan kondisi di masa yang akan datang dengan didasarkan pada pada kondisi masa lalu dan sekarang. Jenis *forecasting* yang digunakan adalah dengan metode regresi, yaitu sebuah metode statistik untuk melakukan peramalan dengan menggunakan pengembangan hubungan matematis antara variabel dependen (Y) dengan variabel independen (X). Dalam melakukan metode ini data-data yang akan diramal perlu untuk dispesifikasikan terlebih dahulu. Peramalan dengan metode ini dilakukan dengan memasukkan variabel X dan Y ke dalam fungsi FORECAST(x, known_ys, known_xs) sehingga didapatkan hasil peramalan sebagai berikut :

Tabel 1. 5 Nilai estimasi produksi hidrogen di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2011	4.759,36
2012	1.026,82
2013	6,77

Tabel 1. 6 Nilai estimasi produksi hidrogen di Indonesia (Lanjutan)

2018	10,28
2019	11,70
2028	11.490,65

Dari metode peramalan dengan regresi linear didapatkan perkiraan nilai produksi hidrogen pada tahun 2028 sebanyak 11.490,65 ton.

1.2.2 Kebutuhan Hidrogen di Indonesia

a. Ekspor

Data ekspor hidrogen di Indonesia yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2015-2020 dapat dilihat pada Tabel 1.6 berikut:

Tabel 1. 7 Data ekspor hidrogen di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2015	0,23
2016	0,23
2017	15,59
2018	0,14
2019	2,76
2020	20,04

Data ekspor hidrogen dalam 7 tahun terakhir cenderung fluktuatif, untuk memperkirakan besarnya nilai ekspor pada tahun 2028 maka dilakukan peramalan/*forecasting* sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. 8 Estimasi ekspor hidrogen di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2015	0,23
2016	0,23
2017	15,59
2018	0,14

Tabel 1. 9 Estimasi ekspor hidrogen di Indonesia (Lanjutan)

2019	2,76
2020	20,04
2028	33,88

Dari regresi linear tersebut didapatkan hasil perkiraan nilai ekspor pada tahun 2028 sebesar 33,88 ton.

b. Konsumsi

Data dari Badan Pusat Statistik berikut menyajikan nilai konsumsi hidrogen pada beberapa tahun terakhir.

Tabel 1. 10 Data konsumsi hidrogen di Indonesia

Tahun	Konsumsi (ton)
2012	6,940
2013	7.243.872,201
2014	0,002
2017	3,185
2018	573,969

Dari data tersebut terlihat bahwa nilai konsumsi hidrogen dari tahun 2012-2018 sangat fluktuatif, sehingga untuk memperkirakan nilai konsumsi hidrogen pada tahun 2028 dilakukan dengan peramalan dengan menggunakan data pada tiga tahun terakhir yaitu tahun 2017, 2018, dan 2019. Untuk nilai konsumsi pada tahun 2018 dan 2019 ditentukan dengan persamaan:

$$\text{konsumsi} = \text{produksi} - \text{impor} + \text{ekspor} \quad (1.2)$$

Sehingga didapatkan besarnya konsumsi pada tahun 2018 sebesar 2.385,2450 ton sedangkan untuk tahun 2019 sebesar 12.068,775 ton. Dari data tersebut kemudian dilakukan *forecasting* dengan metode regresi linear sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. 11 Hasil peramalan jumlah konsumsi

Tahun	Konsumsi (ton)
2017	3,185
2018	2.385,250
2019	12.068,775
2028	65.147,020

Maka perkiraan nilai konsumsi hidrogen pada tahun 2028 sebesar 65147,02 ton. Untuk memenuhi kebutuhan hidrogen di dalam negeri maka Indonesia masih perlu mengimpor hidrogen dari beberapa negara.

Setelah mengetahui nilai impor, produksi, ekspor, dan konsumsi hidrogen pada tahun 2028 selanjutnya dapat ditentukan untuk nilai kapasitas perancangan pabrik biohidrogen.

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= \text{demand} - \text{supply} \\
 &= (\text{ekspor} + \text{konsums}) - (\text{impor} + \text{produksi}) \\
 &= (33,88 + 65.147,02) \text{ ton} - (396,80 + 11.490,65) \text{ ton} \\
 &= 53.293,45 \text{ ton/tahun} \sim 50.000 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Dari analisis *supply demand* tersebut, maka nilai kapasitas perancangan pabrik biohidrogen yang didapatkan sebesar 50.000 ton/tahun.

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Dalam pendirian pabrik biohidrogen ini, produk hidrogen dihasilkan dengan memanfaatkan bahan baku berupa air limbah domestik. Produksi limbah domestik di Indonesia berasal dari penggunaan air bersih setiap harinya yang dapat mencapai 144 liter per hari (Ditjen Cipta Karya, 2006). Dari jumlah pemakaian tersebut sebanyak 45% dari total pemakaian air digunakan untuk keperluan MCK (Mandi,

Cuci, Kakus) mengakibatkan besarnya air limbah domestik yang dibuang setiap hari. Berdasarkan hasil pengkajian, potensi air limbah domestik setiap harinya pada tahun 2020 di Indonesia mencapai 19.709.568 m³/hari (Trisakti, 2012). Dengan melimpahnya potensi air limbah domestik di Indonesia maka penentuan kapasitas pabrik dapat ditentukan berapapun nilainya selama jumlah bahan baku masih memenuhi kebutuhan pabrik yang akan didirikan.

1.2.4 Pabrik Hidrogen

Rentang kapasitas untuk merancang sebuah pabrik biohidrogen dapat diketahui dari data kapasitas pabrik hidrogen yang telah berdiri pada Tabel 1.10 berikut:

Tabel 1. 12 Data produsen hidrogen di dunia

No	Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
1	Xi'an Petrochemical Complex	Cina	3.149,40
2	BorsodChem MCHZ-1	Republik Ceko	4.724,09
3	Shanghai Huaxi Chemical Industry Science & Technology Co., Ltd	Cina	11.022,88
4	Luoyang Petrochemical Complex	Cina	31.493,95
5	Dalian West Pasific Petrochemical Co., Ltd	Cina	47.240,93
6	Dushanzi Petrochemical Company	Cina	62.987,90
7	Praxair	Texas	145.025,71
8	Sincrudos de Oriente's (SINCOR) oil	Venezuela	157.469,76
9	Qingdao Refining & Chemical Co.	Cina	566.891,14

Di Indonesia sudah berdiri beberapa pabrik hidrogen diantaranya seperti PT. Sarimitra Jaya dengan kapasitas sebesar 15.000 ton/tahun, PT. Aneka Gas Industri sebesar 25.000 ton/tahun, PT. BOC Gas sebesar 48.480 ton/tahun, PT. Samator Gresik sebesar 96.960 ton/tahun, dan PT. Air Liquid sebesar 218.176 ton/tahun. Dari data-data tersebut maka dapat ditentukan rentang kapasitas dalam pendirian pabrik biohidrogen yaitu sebesar 3.149 - 567.000 ton/tahun.

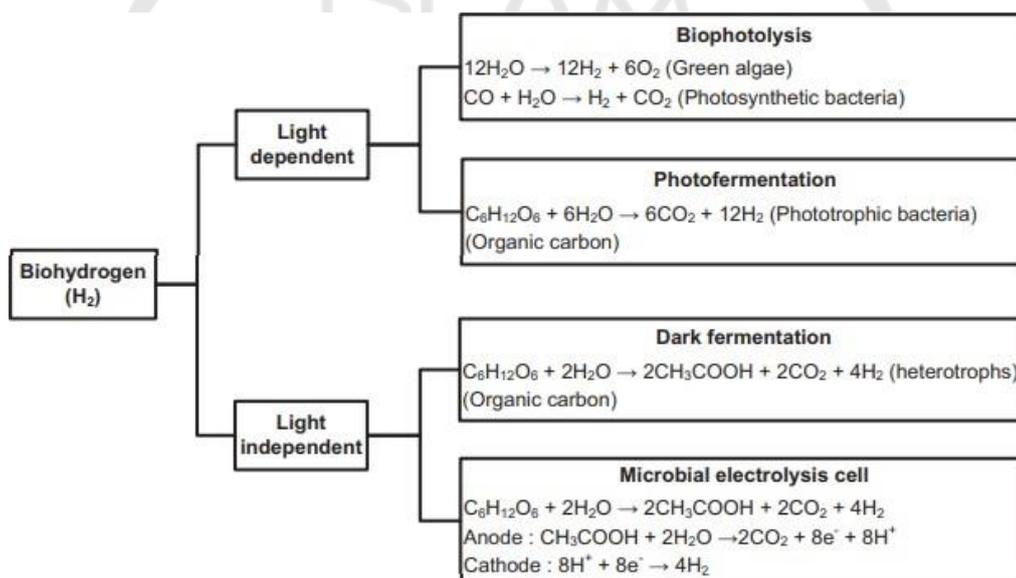
1.2.5 Kapasitas Pabrik

Kapasitas pabrik biohidrogen yang akan didirikan ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti kebutuhan hidrogen di dalam negeri, ketersediaan bahan baku, dan kapasitas pabrik hidrogen yang sudah berdiri. Dipilih kapasitas pabrik biohidrogen sebesar 5.000 ton/tahun (1 : 10 dari besar kapasitas pabrik hasil analisis *supply demand*) karena kapasitas tersebut berada diantara rentang kapasitas pendirian pabrik yaitu antara 3.149 - 567.000 ton/tahun sehingga pabrik tersebut dapat membantu memenuhi kebutuhan hidrogen dalam negeri. Selain itu, pabrik ini merupakan pabrik biohidrogen pertama di Indonesia yang menggunakan bahan baku limbah air domestik. Maka dari itu pembangunan pabrik dengan skala kecil diperlukan untuk melihat apakah proses pengambilan gas H₂ dari proses biologis yang dilakukan dapat berjalan dengan baik sesuai dengan teori yang ada.

1.3 Tinjauan Pustaka

Hidrogen dapat diproduksi dengan berbagai macam metode seperti *steam reforming*, *partial oxidation*, gasifikasi biomassa dan batu bara. Karena bahan baku dari produksi hidrogen ini berupa limbah air domestik, maka proses yang

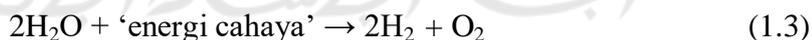
dibutuhkan untuk produksi hidrogen berupa proses secara biologis. Hidrogen yang dihasilkan dari proses biologis biasa dinamakan biohidrogen. Beberapa proses produksi biohidrogen yang umum digunakan telah dirangkum dan dikategorikan oleh (Ghimire, et al., 2015) pada Gambar 1.1 yang dijelaskan lebih rinci pada subbab selanjutnya.



Gambar 1. 1 Jenis proses produksi biohidrogen

1.3.1 Bifotolisis

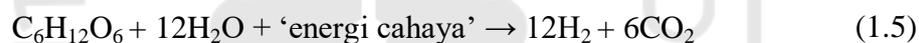
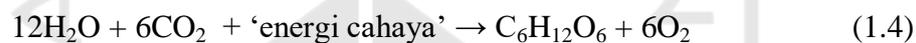
Direct biophotolysis adalah proses biologis yang memanfaatkan energi matahari dan sistem fotosintesis ganggang untuk mengubah air menjadi energi kimia.



Pada reaksi ini oksigen yang dihasilkan oleh fotosintesis sangat menghambat produksi hidrogen (Benemann, 1973). Penghambatan ini terjadi karena reaksi oksigen dengan sistem foto (ferredoxin atau hidrogenase). Pengembangan teknologi untuk reaksi hidrogenase yang stabil oksigen dianggap tidak layak dan

masuk akal secara termodinamika dan lainnya. Untuk mengatasi penghambatan oksigen, proses fotosintesis perlu menggunakan alat tambahan untuk menyerap oksigen (Pandu & Joseph, 2012).

Indirect biophotolysis menggabungkan tahap fotosintesis dan fermentasi mikroalga yang terpisah. Dalam biofotolisis tidak langsung, masalah sensitivitas proses evolusi H₂ terhadap O₂ dihindarkan dengan memisahkan O₂ dan H₂ (Bennemann, 2000). Reaksi *indirect biophotolysis* yang biasa berlangsung:



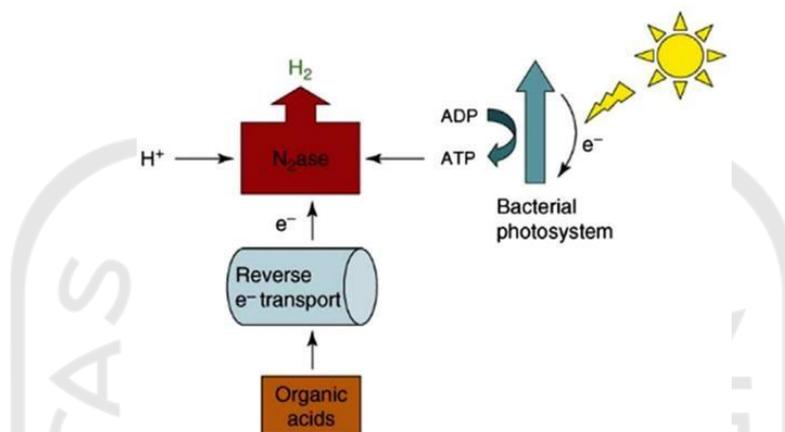
1.3.2 Fotofermentasi

Produksi hidrogen fotofermentatif adalah proses di mana bakteri fotosintetik ungu sulfur/non sulfur tumbuh secara heterotrofik pada substrat seperti senyawa organik limbah yang menghasilkan hidrogen menggunakan energi cahaya dalam kondisi anaerobik.



Proses ini bekerja secara optimal di pH netral (sekitar 7). Bakteri PNS (Purple Non-Sulphur) menggunakan enzim nitrogenase untuk mengkatalisis fiksasi nitrogen agar menghasilkan hidrogen bersamaan dengan reduksi nitrogen. Dengan memanfaatkan energi dari matahari untuk mendorong reaksi termodinamika yang tidak menguntungkan, bakteri PNS berpotensi mengalihkan 100% elektron dari substrat organik ke produksi hidrogen. Dalam proses ini, foto-heterotrof biasanya memanfaatkan asam organik seperti asam asetat, asam butirat, dan asam piruvat (hasil samping dari fermentasi gelap). Dengan demikian, aliran limbah dari

fotofermentasi mengandung lebih sedikit produk samping karena senyawa organik sepenuhnya tereduksi untuk membentuk H_2 dan CO_2 .



Gambar 1. 2 Proses fotofermentasi oleh bakteri fotosintetik

Proses ini mampu sepenuhnya mengubah senyawa organik menjadi hidrogen, bahkan terhadap tekanan parsial hidrogen yang relatif tinggi, karena produksi hidrogen didorong oleh nitrogenase yang bergantung pada ATP dan ATP yang terbentuk menangkap energi cahaya melalui fotosintesis.

1.3.3 Fermentasi Gelap / *Dark Fermentation*

Proses ini merupakan proses terjadinya fermentasi anaerobik tanpa adanya cahaya yang memecah substrat (kaya akan karbohidrat) untuk membentuk hidrogen dan zat antara seperti asam lemak volatil (VFA) dan alkohol (Rahman S. N. A. M. M., 2015). Reaksi fermentasi dapat dioperasikan pada suhu mesofilik ($25 - 40^{\circ}C$), termofilik ($40 - 65^{\circ}C$), termofilik ekstrim ($65 - 80^{\circ}C$), atau hipertermofilik ($>80^{\circ}C$). Bakteri yang diketahui menghasilkan hidrogen termasuk spesies *Enterobacter*, *Bacillus*, dan *Clostridium*. Dalam sebuah studi oleh Ginkel et al. (2005), pH dipertahankan pada 5,5-8 untuk meningkatkan produksi biohidrogen sebesar 60-70%. Kelemahan metode ini adalah hasil H_2 yang rendah karena

produksi produk sampingan lainnya seperti asam asetat, asam propionat, dan asam butirat. Ketika proses fermentasi menghasilkan produk samping asam asetat, maka maksimum mol teoritis H_2 diperoleh sebesar 4 mol H_2 per mol glukosa (Levina, Pitt, & Love, 2004).



Perlu dilakukan tahapan lanjut untuk meningkatkan kadar H_2 yang diperoleh, proses fermentasi termofilik (*photo fermentation*) dapat menghasilkan H_2 secara teoritis menjadi 12 mol H_2 /mol glukosa.



Selain fotofermentasi, proses lain seperti *Microbial Electrolysis Cells* (MEC) dan *anaerobic digestion* dapat dilakukan untuk memproses hasil samping fermentasi gelap menjadi hidrogen.

1.3.4 Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi (EC) melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi di mana destabilisasi kontaminan (tersuspensi, emulsi, atau terlarut) terjadi karena penerapan arus listrik ke larutan elektrolit. Unit EC terdiri dari sel elektrolisis dan elektroda logam (Al atau Fe) yang dihubungkan ke catu daya eksternal. Dalam proses EC, pelarutan anodik menghasilkan koagulan in situ bersama dengan ion hidroksil dan gas hidrogen di katoda. Koagulan in situ ini menyebabkan pembentukan flok dalam jenis logam (Al atau Fe) hidroksida dan/atau poli hidroksida. Gas hidrogen yang dihasilkan di katoda membawa flok ke permukaan air sehingga flok tersebut mengapung (Malleth, B, & N, 2018). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

Reaksi oksidasi pada anoda Aluminium:



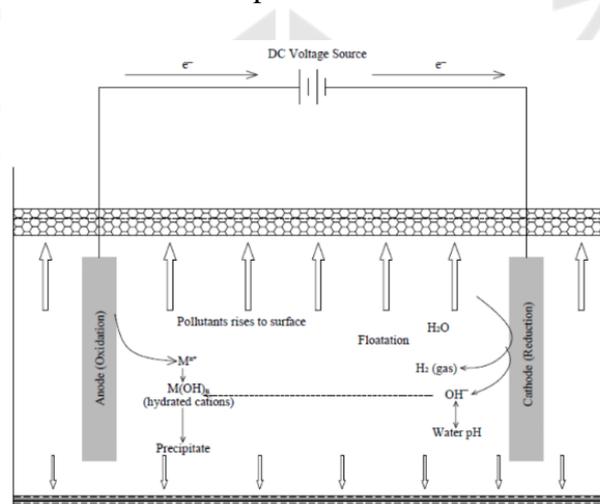
Reaksi reduksi pada katoda Aluminium:



Reaksi keseluruhan:



Mekanisme reaksi EC diilustrasikan pada Gambar 1.3 berikut:



Gambar 1. 3 Mekanisme proses elektrokoagulasi

Beberapa parameter yang memengaruhi efektivitas EC adalah (Mollah, 2001):

a. Kerapatan Arus Listrik

Kenaikan kerapatan arus akan mempercepat ion bermuatan membentuk flock. Jumlah arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan bahan yang dihasilkan selama proses.

b. Waktu

Menurut hukum Faraday, jumlah muatan yang mengalir selama proses elektrolisis sebanding dengan jumlah waktu kontak yang digunakan.

c. Tegangan

Arus listrik yang menghasilkan perubahan kimia mengalir melalui medium (logam atau elektrolit) disebabkan adanya beda potensial, karena tahanan listrik pada medium lebih besar dari logam, maka yang perlu diperhatikan adalah mediumnya dan batas antar logam dengan medium.

d. Kadar Keasaman (pH)

Pada proses elektrokoagulasi terjadi proses elektrolisis air yang menghasilkan gas hidrogen dan ion hidroksida, maka dengan semakin lama waktu kontak yang digunakan, maka semakin cepat juga pembentukan gas hidrogen dan ion hidroksida, apabila ion hidroksida yang dihasilkan lebih banyak maka akan menaikkan pH dalam larutan.

e. Ketebalan Plat

Semakin tebal plat elektroda, daya tarik elektrostatisnya dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam dalam larutan akan semakin besar.

Suhu dan tekanan hanya memiliki pengaruh kecil pada proses.

Microbial Electrolysis Cell (MEC) tidak dicantumkan karena penerapan di skala industri tidak layak sehingga dipilih EC dengan prinsip utama yang sama

(elektrolisis) untuk produksi biohidrogen dari limbah air domestic dikarenakan sudah banyak pabrik pengolahan air di Indonesia yang menggunakan proses elektrokoagulasi.



Tabel 1. 13 Perbandingan proses produksi biohidrogen

	Fermentasi Gelap	Fotofermentasi	Biofotolisis	Elektrokoagulasi
Produk samping	$C_3H_6O_2$, $CH_3CH_2CH_2COOH$, CH_3COOH	CO_2	O_2 , CO_2	$Al(OH)_3$
Efisiensi konversi energi	60-80%	3-10%	10-11%	89%
Tingkat produksi (L/L/d)	<i>Beverage wastewater</i> : 1,75 (<i>batch</i>) Selulosa : 0,24	<i>Dairy wastewater</i> : 0,057	0,00017 (Rahman S. N. A. M. M., 2015)	<i>Tannery wastewater</i> : 6,8352 L/d
Harga (USD/kg)	2,57	2,83	2,13	5,03
% pengurangan COD	45%	52,2%	50%	87,5 – 90%
Suhu operasi (Islam, Dunlop, Hewitt, Lenihan, & Brandoni, 2021)	Maksimum $\leq 60^{\circ}C$ Mesofilik ($25-49^{\circ}C$)	$30 - 40^{\circ}C$	$35 - 55^{\circ}C$ (Miyamoto, Hallenbeck, & Benemann, 1979)	Suhu ruang

Tabel 1. 14 Keunggulan dan kekurangan proses produksi biohidrogen

Proses	Keunggulan	Kekurangan
Fermentasi Gelap	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tingkat produksi H₂ tinggi. 2. Konfigurasi reaktor sederhana. 3. Dapat menghasilkan H₂ tanpa cahaya. 4. Tidak ada batasan oksigen dan dapat menghasilkan beberapa metabolit sebagai produk sampingan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konsentrasi produk samping besar 2. Tingkat BOD dalam efluen tinggi. 3. Pra-pengolahan diperlukan untuk limbah lignoselulosa. 4. H₂ yield rendah. 5. Pada hasil H₂ yang lebih tinggi, proses menjadi tidak menguntungkan secara termodinamika 6. Tingkat pengurangan COD rendah
Fotof fermentasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. H₂ yield tinggi 2. Tingkat pengurangan COD tinggi 3. Konversi substrat mendekati 100% 4. Bakteri fotosintetik dapat mengeksploitasi berbagai energi spektral 	<ol style="list-style-type: none"> 1. O₂ menghambat enzim nitrogenase 2. Efisiensi konversi cahaya rendah. 3. Diperlukan sumber cahaya eksternal 4. Tidak cocok untuk limbah lain kecuali limbah kaya VFA. 5. Ketidakhomogenan distribusi cahaya
Biofotolisis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ganggang hijau biru dapat menghasilkan hidrogen dari air. Memiliki kemampuan untuk memperbaiki N₂ dari atmosfer 2. Efisiensi konversi H₂ ringan tinggi (mikroalga dengan FeFe hidrogenase) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membutuhkan intensitas cahaya yang tinggi 2. Efisiensi fotokimia rendah 3. O₂ bersifat inhibisi. 4. Serapan hidrogenat harus dihilangkan.
Elektrokoagulasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode sederhana dan praktis 2. Penggabungan oksidasi, koagulasi dan pengendapan (modal lebih rendah). 3. Mengurangi kebutuhan reagen kimia (diganti dengan elektroda Al atau Fe dan listrik) 4. Mengurangi risiko polusi sekunder 5. Produksi lumpur rendah 6. Kebutuhan energi lebih rendah dibandingkan proses konvensional 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resiko pasivasi elektroda dari waktu ke waktu 2. Minimnya desain reaktor yang sistematis

Sumber: (Osman, Deka, & Baruah, 2020)

Berdasarkan parameter dan perbandingan diatas, maka dipilih proses Elektrokoagulasi (EC), karena kelebihanannya dibandingkan proses lain sebagai berikut:

- a. Tingkat pengurangan COD tinggi
- b. Kinerja yang stabil di suhu ruang sehingga tidak membutuhkan energi pembangkit panas yang besar
- c. Konversi besar hingga 89%

Proses lain yang juga berpotensi diterapkan di skala industri adalah fermentasi dua tahap (fermentasi gelap dan fotofermentasi). Namun, proses tersebut memerlukan cahaya matahari di tahap fotofermentasi yang menyebabkan kinerja pabrik tergantung pada cuaca sehingga kapasitas produk yang dihasilkan tidak seakurat dengan hasil perhitungan teoritis. Sedangkan pada proses EC, hal tersebut dapat dikontrol dengan menentukan besarnya arus listrik dan waktu proses sehingga banyaknya produk yang dihasilkan sesuai dengan perhitungan teoritis. Walaupun dari segi harga cukup tinggi, bila EC dibandingkan dengan fermentasi gelap yang harganya sekitar setengah dari EC, produk samping fermentasi gelap berupa CO_2 memerlukan perlakuan lebih lanjut untuk pemisahan dari H_2 yang mana proses tersebut lebih kompleks dibandingkan dengan proses pemisahan antara H_2 dengan koagulan yang cukup dengan satu alat tambahan saja. Terlebih lagi, proses ini sudah diterapkan di berbagai Instalasi Pengolahan Air Limbah di Indonesia dan proses serupa (elektrolisis) didukung oleh pemerintah Indonesia melalui Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi yang saat ini tengah berencana

membangun industri hidrogen hijau di Kalimantan Utara yang akan diintegrasikan dengan energi berbasis air.

1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

1.4.1. Tinjauan Kinetika

Dalam elektrolisis, hukum Faraday berperan besar dalam penentuan parameter dalam reaksi. Hukum Faraday menyatakan bahwa jumlah (mol) dari unsur yang dibebaskan selama elektrolisis bergantung pada: waktu melewati arus stabil, besarnya arus tetap yang dilewati, dan muatan ion unsur tersebut. Hukum kuantitatif tersebut adalah sebagai berikut:

$$\frac{w}{M} = \frac{It}{zF} \quad (1.12)$$

Dari rumus diatas, dapat ditentukan waktu elektrolisis berlangsung.

Keterangan:

w = massa produk (g)

M = berat molekul (g/mol)

I = kuat arus (A)

z = jumlah elektron

F = konstanta Faraday (96.485 C/mol)

Selain konstanta Faraday (F) ada dua konstanta lain yang relevan dengan proses elektrolisis. Kedua konstanta ini adalah konstanta Avogadro (L) dan nilai muatan elektron standar (e). Nilai ini berguna untuk menentukan besar kuat arus yang diperlukan untuk mencapai jumlah target produk yang diinginkan.

$$\text{Konstanta Avogadro (L)} = 6,02 \cdot 10^{23}$$

$$\text{Elektron standar (e-)} = 1,6023 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

1.4.2. Tinjauan Termodinamika



E° (Potensial sel) = (Potensial reduksi untuk reduksi di katoda) – (Potensial reduksi untuk oksidasi di anoda)



$$E^\circ = -0,83 - (-1,67) \text{ V}$$

$$E^\circ = 0,84 \text{ V}$$

$$\Delta G^\circ = -n.F.E^\circ$$

(1.13)

Keterangan:

F = Konstanta Faraday (96.485 C/mol)

n = Banyaknya mol ditransfer per mol reaktan dan produk

$$\Delta G^\circ = -2 \text{ mol} \times 96.485 \text{ C/mol} \times 0,84 \text{ J/C}$$

$$= -162.094,80 \text{ J/mol}$$

Dari perhitungan diatas, didapat nilai E° positif dan ΔG° negatif yang menandakan reaksi berjalan secara spontan. Hal ini sesuai dengan karakteristik proses elektrokoagulasi yaitu dihasilkannya endapan (dalam hal ini berupa $\text{Al}(\text{OH})_3$ dalam bentuk flok), terjadinya gelembung (H_2 yang dihasilkan berupa gelembung yang akan mengangkat dan membuat flok mengapung di permukaan air), perubahan warna (reaksi elektrokoagulasi terkenal dalam tingkat efektivitasnya dalam menjernihkan limbah air), dan perubahan suhu. Reaksi yang dimaksud berjalan secara spontan adalah pembentukan gas H_2 setelah anoda mengalami oksidasi.

Namun, dalam praktiknya reaktor elektrokoagulasi terdiri dari sel elektrolitik yang membutuhkan sumber daya eksternal untuk mengoksidasi anoda.

$$\Delta G^\circ = - R.T.\ln K \quad (1.14)$$

Keterangan:

R = Konstanta gas (8,314 J/K.mol)

T = Suhu (K)

K = Konstanta equilibrium

$$K = \exp\left(-\frac{-162.094,80 \text{ J/mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{K.mol}} \times 298,15 \text{ K}}\right)$$

$$K = 2,76.10^{30}$$

Dari perhitungan diatas dengan nilai $G^\circ < 0$ dan $K > 1$, dapat disimpulkan bahwa kesetimbangan mengarah ke produk. Dengan nilai $K > 1$ menandakan bahwa reaksi berjalan secara *irreversible*.

Reaksi elektrokoagulasi merupakan proses eksotermis untuk penyerapan kontaminan pada larutan.

$$\Delta H = \Delta H \text{ produk} - \Delta H \text{ reaktan}$$

$$\Delta H = [(\Delta H \text{ Al(OH)}_3 \times 2) + (\Delta H \text{ H}_2 \times 3)] - [(\Delta H \text{ H}_2\text{O} \times 6) + (\Delta H \text{ Al} \times 2)]$$

$$\Delta H = [(-1284,488 \times 2) + (0 \times 3)] - [(-286 \times 6) + (0 \times 2)] \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H = -853 \text{ kJ/mol}$$

Pada praktiknya, umumnya proses pengolahan air dengan elektrokoagulasi tidak memerlukan media pendingin karena kenaikan suhu tidak signifikan (masih berada di rentang suhu ruang). Maka dari itu, kenaikan suhu yang dihitung adalah berdasarkan panas yang dihasilkan oleh kawat sumber listrik ke larutan limbah air.

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

Tabel 2. 1 Data spesifikasi produk

	Hidrogen (Produk Utama)
Rumus Molekul	H ₂
Berat Molekul, g/mol	2
Fasa	Gas
<i>Specific Gravity</i>	0,0696
Titik Didih, °C	-252,9
Densitas, kg/m ³	0,08376
Kemurnian, % mol	99,9
Kelarutan dalam Air	0,00016 pada 25°C
Kenampakan	Tidak berwarna
Tekanan Uap, atm	4,746 pada 27°C

Sumber: (Jolly , 2022)

2.2 Spesifikasi Bahan Baku

Tabel 2. 2 Data spesifikasi bahan baku

	Limbah air	Aluminium
Rumus Molekul	H ₂ O	Al
Berat Molekul, g/mol	18	27
Fasa	Cair	Padat
<i>Specific Gravity</i>	1	2,7

Tabel 2. 2 Data spesifikasi bahan baku (Lanjutan)

Titik Didih, °C	100	2467
Densitas, kg/m ³	997	2700
Kemurnian, % massa	99,75	99,9 % (United States Patent No. US3974055A, 1974)
Kelarutan dalam Air, mg/ml	-	<i>Insoluble</i> (World Health Organization, 2003)
Kenampakan	Tidak berwarna	Tidak berwarna
Tekanan Uap, atm	0,015 (20 °C)	-
Titik leleh (°C)	0	475 - 677
Viskositas, cP	0,890 (Zumdahl , 2022)	-

2.2.1. Limbah Air Domestik

Air limbah adalah air yang dibuang dari rumah, kantor dan industri. Limbah tersebut berasal dari toilet, wastafel, pancuran, mesin cuci dan proses industri. Air limbah yang dihasilkan karena aktivitas manusia di rumah tangga disebut air limbah domestik yaitu air limbah yang berasal dari dapur, kamar mandi, wastafel, toilet dan cucian. Karakteristik limbah air domestik yang digunakan pada pabrik berdasarkan data kualitas *blackwater* pada penelitian milik (Widyarani, et al., 2022).

Tabel 2. 3 Komponen dalam limbah air domestik

Jenis	Komponen
Mikroorganisme	Bakteri patogen, virus dan telur cacing
Bahan organik yang dapat terbiodegradasi	Penipisan oksigen di sungai dan danau
Bahan organik lainnya	Deterjen, pestisida, lemak, minyak, pewarna, pelarut, fenol, sianida

Tabel 2. 3 Komponen dalam limbah air domestik (Lanjutan)

Nutrients	Nitrogen, fosfor, amonium
Logam	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni
Bahan anorganik lainnya	Asam, misalnya hidrogen sulfida, basa
Efek termal	Air panas
Bau (dan rasa)	Hidrogen sulfida

Tabel 2. 4 Karakteristik limbah air domestik

Parameter Analisis	Nilai
Chemical Oxygen Demand (COD) (mg O ₂ /l)	1435
Biochemical Oxygen Demand (BOD) (mg O ₂ /l)	528
Suspended Solid (SS) (g SS/ m ³)	462
Total Nitrogen (g N/ m ³)	25
Total Phosphorous (g P/ m ³)	0,8

2.3 Pengendalian Kualitas

Dalam mendirikan suatu pabrik perlu dilakukan suatu upaya pengawasan dalam setiap kegiatan produksi yang dilakukan dengan memperhatikan kualitas dari mulai persiapan bahan baku, proses, dan juga produk yang akan dihasilkan. Tujuan dari dilakukannya pengendalian kualitas untuk menjaga dan mempertahankan mutu/kualitas dari produk yang dihasilkan agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas dimulai dari bahan baku dimana karakteristik bahan baku akan mempengaruhi kualitas produk akhir. Oleh karena itu penting dilakukan

pengawasan dan seleksi sumber bahan baku yang akan digunakan untuk menentukan apakah bahan baku sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pengawasan terkait dengan mutu bahan baku dapat dilakukan dengan menggunakan alat kontrol maupun analisa di laboratorium. Dari hasil analisa dapat ditentukan apakah mutu bahan baku sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan. Apabila mutu bahan baku tidak sesuai dengan yang diharapkan maka bahan baku tersebut dapat dikembalikan ke supplier.

2.3.2. Pengendalian Proses

Pengendalian proses adalah “cara memperoleh” keadaan proses agar sesuai dengan yang diinginkan. Pengendalian proses produksi pabrik terdiri dari penggunaan sistem kendali untuk mengontrol aliran keluar masuk peralatan dan mengontrol kondisi operasi peralatan. Operasi dikendalikan dan dipantau oleh pengontrol yang terletak di tengah ruang kontrol. Unit kontrol dijalankan oleh kontrol otomatis menggunakan sinyal dari indikator dan dikirim ke unit kontrol. Dalam hal ini, penyimpangan perlu dikembalikan ke keadaan semula. Berikut merupakan alat kontrol yang umum digunakan:

a. Level Control

Alat ini digunakan untuk menentukan dan mengontrol level cairan di dalam alat agar tidak melebihi batas maksimum yang diperbolehkan. LC biasa digunakan pada alat-alat yang berbentuk *vessel* atau kolom. LC terhubung ke katup kontrol di outlet kolom atau bejana.

b. Temperature Control

Alat ini memiliki pengaturan atau batas suhu yang dapat disesuaikan. Jika nilai suhu sebenarnya di atas atau di bawah nilai yang ditetapkan, informasi terkait dengan nilai yang diperoleh ditransfer ke alat pengontrol aliran untuk aliran uap dan air pendingin dari penukar panas, untuk selanjutnya ditindak lebih lanjut.

c. Flow Control

Perangkat yang digunakan untuk mengatur laju aliran cairan dalam pipa atau unit proses. Pengukuran kecepatan aliran di dalam tabung disesuaikan dengan aliran keluaran alat.

d. Pressure Control (Pengendali tekanan)

Kontroler bekerja ketika kondisi tekanan tidak sesuai dengan kondisi yang diatur. Kondisi yang ditetapkan ditampilkan dalam bentuk sinyal cahaya atau suara.

2.3.3. Pengendalian Kualitas Produk

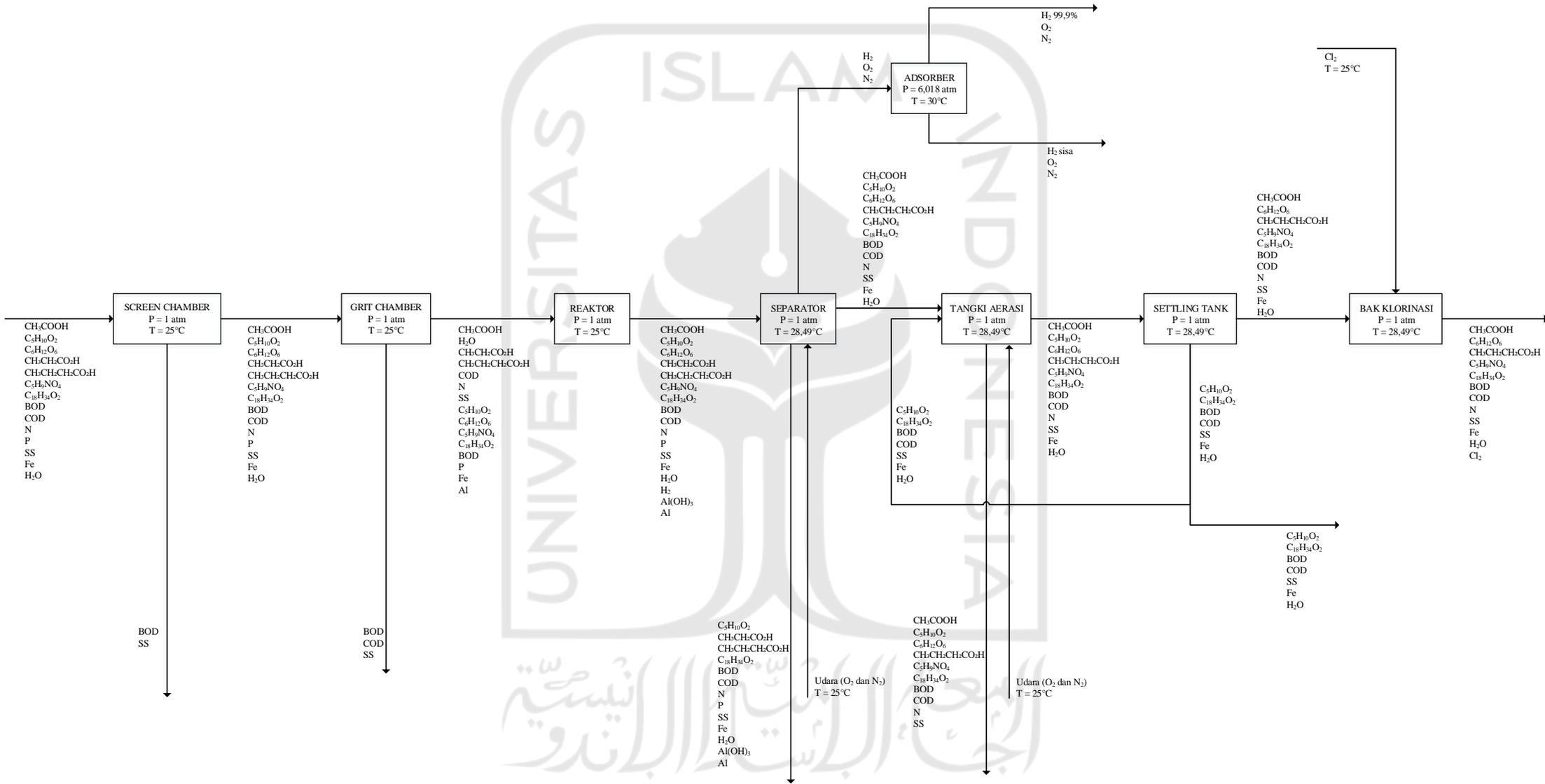
Pengendalian kualitas produk dilakukan untuk menjaga agar hasil produk sesuai dengan spesifikasi sehingga tidak ada produk yang kurang baik lolos dan jatuh ke tangan konsumen. Kontrol ini harus dilakukan dari bahan baku hingga produk dengan adanya sistem kontrol yang memantau dan mengontrol variabel proses yang ada. Spesifikasi bahan baku, kemurnian produk, dan komposisi bahan produk diuji di laboratorium untuk memastikan produk yang dihasilkan memenuhi standar.

BAB III

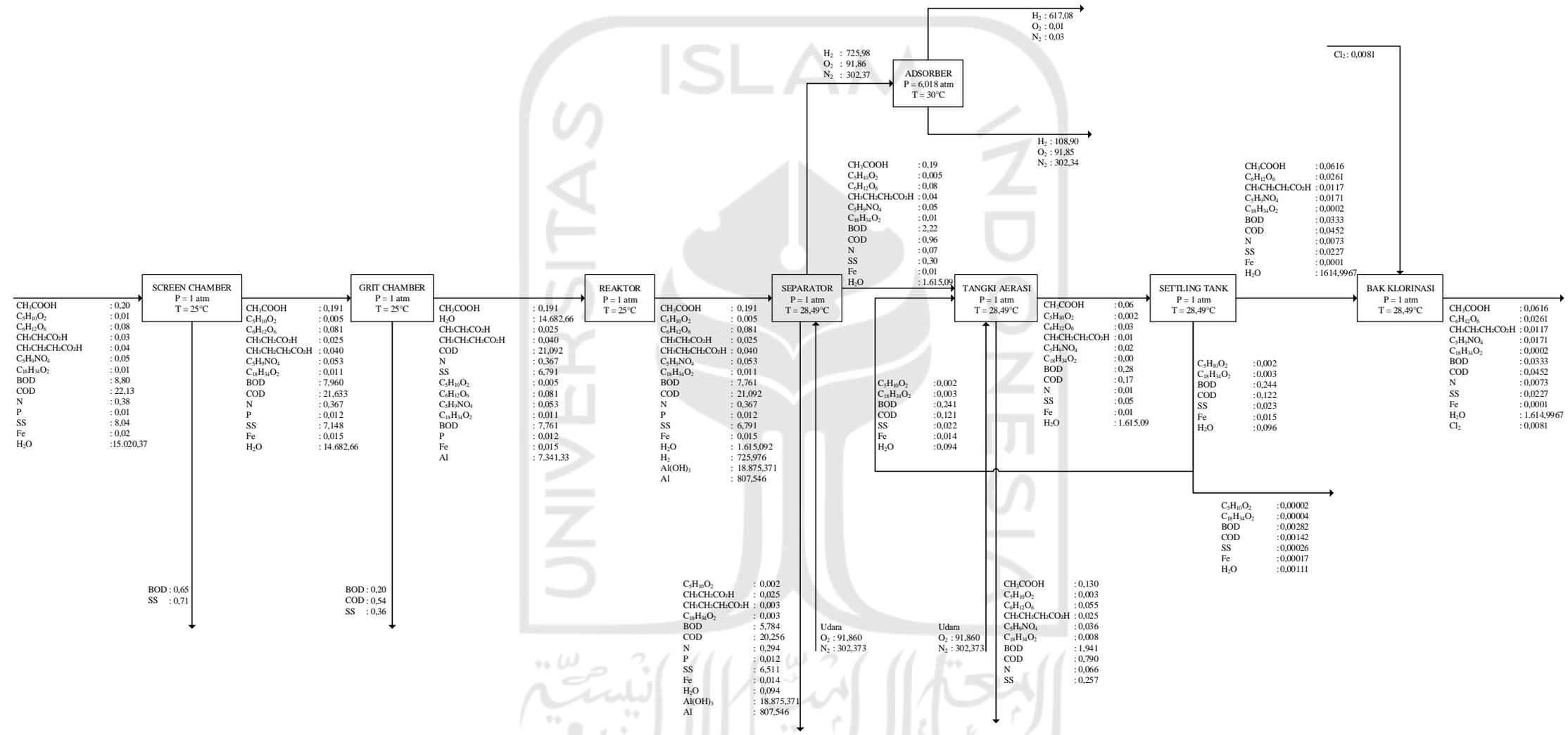
PERANCANGAN PROSES

3.1 Diagram Alir Proses dan Materi





Gambar 3. 1 Diagram alir kualitatif



Gambar 3. 2 Diagram alir kuantitatif

3.2 Uraian Proses

Produksi biohidrogen dengan proses elektrokoagulasi menggunakan air sebagai bahan baku utama yang didapatkan dari limbah air domestik. Secara keseluruhan proses beroperasi pada keadaan standar dengan tekanan 1 atm dan suhu 25°C. Proses produksi dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

3.2.1 Persiapan bahan baku dan pembantu

a. Air

Air (H₂O) yang digunakan sebagai bahan baku utama berasal dari campuran limbah air domestik yang diperoleh langsung dari jaringan perpipaan air limbah domestik di kota Bandung dengan kadar H₂O sebesar 99,75%. Limbah air domestik disimpan dalam sumur pengumpul (SP-01) di fase cair pada suhu 25°C tekanan 1 atm dengan kapasitas pakai selama 9,32 menit agar terhindar dari pengendapan dalam sumur. Limbah air domestik kemudian dialirkan menggunakan pompa *submersible* (P-01) menuju *Screen Chamber* (SC-01) untuk menyaring objek berukuran besar seperti sampah plastik, kain, kayu, dan lain-lain. Proses ini termasuk dalam *pretreatment* yang dimaksudkan agar campuran limbah menjadi sedikit lebih homogen. Setelah itu, limbah dialirkan kembali menuju *Grit Chamber* (GC-01) untuk membuang polutan padat yang memiliki *specific gravity* lebih berat seperti pasir, kulit telur, dan tulang sisa makanan dengan prinsip sedimentasi. Hal ini diperlukan karena partikel-partikel ini tidak dapat

dihilangkan menggunakan bahan kimia dan berpotensi menyumbat atau menghancurkan pompa di kemudian hari dalam prosesnya.

b. Aluminium

Aluminium merupakan material elektroda yang akan digunakan untuk reaksi di Reaktor (R-01) yang berfungsi sebagai koagulan. Elektroda yang digunakan sudah tersedia dalam reaktor yang dibeli dari Shenzhen Waterpower Environment Protection Equipment Co Ltd. Elektroda tersusun secara paralel untuk menurunkan beda potensial antara elektroda dan dihubungkan secara seri. Semua anoda dihubungkan pada satu titik, dan semua katoda dihubungkan pada titik lain.

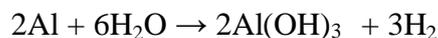
3.2.2 Tahap reaksi

Limbah air domestik dialirkan menuju Reaktor (R-01) yang merupakan reaktor elektrokoagulasi dengan kondisi operasi pada suhu 25°C, tekanan 1 atm, dengan rapat arus sebesar 10.327,25 A/m². Kondisi ini dijaga selama 30 menit selama proses elektrokoagulasi berlangsung agar reaksi berjalan optimal dengan konversi sebesar 89% sesuai konversi teoritis.

Terdapat dua proses yang terjadi dalam Reaktor (R-01), yaitu proses elektrolisis dan koagulasi-flokulasi. Oksidasi yang terjadi pada anoda Aluminium yang bersamaan dengan reduksi air di katoda menghasilkan produk samping berupa flok Aluminium Hidroksida (Al(OH)₃) sebagai koagulan untuk menyerap polutan pada limbah cair. Sedangkan gas H₂ yang

dihasilkan berperan dalam menaikkan flok tersuspensi yang tidak dapat mengendap.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Produk yang dihasilkan dari reaksi berupa fase padat dan gas. Keluaran reaktor merupakan campuran dari kedua fase tersebut dan limbah air yang tidak larut satu sama lain.

3.2.3 Tahap pemisahan dan pemurnian produk

a. Tahap pemisahan produk

Produk hasil dari Reaktor (R-01) dialirkan ke bagian bawah Separator (SP-01). Separator (SP-01) yang digunakan mengikuti prinsip kerja *Upflow Anaerobic Sludge Reactor*. Udara diumpankan ke bagian bawah alat sistem sparger gas melalui *blower*, yang bertujuan untuk meniru fase gas di Separator (SP-01). Udara digunakan untuk mewakili biogas yang dihasilkan dalam Separator (SP-01), menyebabkan gelembung menyatu dan terlepas dari padatan (lapisan lumpur) dengan ukuran yang jauh lebih besar daripada gelembung biogas. Saat air limbah bergerak ke atas, gelembung gas H_2 juga bergerak ke atas bersamaan dengan lumpur ringan dan lumpur terdispersi (Phalakornkule, Sukkasem, & Mutchimsattha, 2010).

Produk gas H_2 mengalir keluar di outlet gas yang terletak di bagian atas separator dan ditahan sementara di *gas holder*. Gas H_2 dari *gas*

holder memiliki kadar kemurnian sebesar 92,6% dengan impuritas berupa udara.

b. Tahap pemurnian produk

Untuk memenuhi kadar kemurnian H₂ agar dapat dijual di pasaran, maka dilakukan pemisahan antara H₂ dan udara dengan proses adsorpsi di *Pressure Swing Adsorber* (AD-01). Proses ini dimulai dengan menaikkan tekanan gas H₂ campuran terlebih dahulu di kompresor (C-01) dari 1 atm menjadi 6,018 atm menyesuaikan dengan tekanan optimal penyerapan impuritas (N₂ dan O₂) pada adsorben. Kenaikan tekanan menyebabkan suhu gas H₂ meningkat menjadi 89⁰C yang mana tidak sesuai dengan rentang suhu operasi adsorber (AD-01) (suhu ambien, maksimum 50-60⁰C) (Allevi & Collodi, 2017). Maka dari itu dilakukan pendinginan di *Cooler* (CL-01) hingga mencapai suhu 30⁰C yang kemudian dapat langsung dialirkan ke bagian bawah adsorber (AD-01). Adsorber (AD-01) dilengkapi dengan 2 tipe adsorben yang tersusun secara *multibed*, yaitu *Zeolite 13X* untuk menyerap N₂ dan *Carbon Molecular Sieve* untuk menyerap O₂.

Gas H₂ campuran dialirkan ke bagian bawah adsorber pertama, di mana tekanan pada adsorber perlahan-lahan naik sehingga udara (N₂ dan O₂) diserap oleh adsorben dan mengendap di permukaan adsorber. Sedangkan gas H₂ bergerak ke bagian atas adsorber yang akan keluar melalui *outlet*. Setelah adsorben jenuh dengan udara (N₂ dan O₂), maka tekanan perlahan menurun di adsorber pertama dan udara (N₂ dan O₂)

dibuang ke lingkungan. Bersamaan dengan menurunnya tekanan di adsorber pertama, gas H₂ campuran terkompresi dialirkan ke adsorber kedua dengan menutup saluran masuk adsorber pertama. Secara bersamaan tekanan di adsorber kedua perlahan-lahan meningkat karena masuknya gas H₂ campuran terkompresi. Di adsorber kedua, udara (N₂ dan O₂) akan mengendap karena terserap adsorben dan H₂ dikeluarkan melalui *outlet* bagian atas adsorber lalu tekanan di adsorber kedua akan menurun sehingga udara (N₂ dan O₂) dibuang ke lingkungan. Ketika tekanan adsorber pertama turun, tekanan adsorber kedua akan naik begitu pula sebaliknya sehingga proses berlangsung secara kontinyu.

Gas H₂ hasil adsorpsi memiliki kemurnian 99,99% sehingga sudah memenuhi standar kelayakan untuk dijual. Gas H₂ 99,99% lalu dialirkan menuju Tangki Penyimpanan H₂ (TK-02) yang sebelumnya melewati kompresor (C-01) untuk dinaikkan tekanannya menjadi 640 atm dengan tujuan agar penyimpanan gas tidak memerlukan volume tangki terlalu besar. Kenaikan suhu akibat kenaikan tekanan menjadi 152^oC mengharuskan gas H₂ didinginkan terlebih dahulu di *cooler* (CL-02) agar dapat disimpan di tangki pada suhu 30^oC.

Produk lumpur berat seperti Al(OH)₃ terakumulasi di bagian bawah Separator (SP-01) yang akan dialirkan menuju unit pengolahan limbah. Limbah air bersamaan dengan lumpur ringan dan terdispersi mengalir keluar di *outlet* air yang terletak di dekat bagian atas separator. Limbah air diproses kembali untuk memenuhi standar baku mutu

melalui pompa (P-03) menuju Tangki Aerasi (TA-01). Dengan bantuan udara dari *Blower* (BI-02), oksigen dari udara akan larut dan membuat mikroorganisme tersuspensi sehingga terjadi proses penguraian zat organik dalam limbah oleh mikroorganisme yang terkandung dalam lumpur aktif. Pada *Settling Tank* (ST-01), terjadi pengendapan sisa lumpur pada bagian bawah yang sebagian akan dialirkan kembali ke Tangki Aerasi (TA-01) dan sisanya dialirkan menuju unit pengolahan limbah. Air keluaran *Settling Tank* (ST-01) yang hampir memenuhi standar baku mutu dilakukan desinfeksi dengan kaporit yang mengandung klorin untuk membunuh mikroorganisme patogen sebelum dibuang kembali ke sungai. Air bersih yang sudah diolah memiliki kemurnian sebesar 99,99% dengan kualitas air yang hampir memenuhi standar baku mutu, kemudian dilanjutkan pengolahan ke unit pengolahan air di utilitas untuk digunakan kembali sebagai penyedia air pabrik.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Sumur Pengumpul

Tabel 3. 1 Spesifikasi Sumur Pengumpul

Tangki	TK-01	
Fungsi	Mengumpulkan air limbah domestik dari sub-sistem pengumpulan	
Lama penyimpanan (menit)	10	
Fasa	Cair	
Jumlah tangki	1	
Jenis tangki	Balok	
Kondisi operasi	T (°C)	25
	P (atm)	1

Tabel 3. 1 Spesifikasi Sumur Pengumpul (Lanjutan)

Spesifikasi	Bahan konstruksi	<i>Fibre-Reinforced Plastic</i>
	Volume tangki (m ³)	8,97
	Luas tangki (m ²)	5,98
	Tebal dinding (m)	0,15
	<i>Freeboard</i> (m)	0,50
	Kedalaman (m)	1,50
	Panjang (m)	2,45
	Lebar (m)	2,44
Harga (Rp)	12.982.460	

3.3.2 *Screen Chamber*

Nama dan Kode	: <i>Screen Chamber / SC-01</i>
Fungsi	: Menyaring sampah berukuran besar yang terdapat dalam limbah air domestic
Jenis	: Pembersihan mekanik
Tipe	: <i>Coarse screen</i>
Material	: <i>Stainless steel</i>
Kondisi operasi	
a. T (°C)	: 25
b. P (atm)	: 1
Spesifikasi Saringan	
a. Luas bukaan (m ²)	: 0,01
b. Panjang (m)	: 0,06
c. Lebar saluran (m)	: 0,24

d. Tinggi (m) : 0,80

Bar

a. Lebar (mm) : 10

b. Jumlah : 9

c. Jarak antar bar (mm) : 15

d. Kemiringan dari horizontal (°) : 70

Head loss (mm) : 4,35

Kecepatan saluran penyaring : 0,30

(m/s)

Kecepatan melalui *screen* : 0,17

chamber (m/s)

Jumlah : 1 unit

Harga (Rp) : 385.473.236

3.3.3 Grit Chamber

Nama dan Kode : *Grit Chamber* / GC-01

Fungsi : Menyisihkan material padatan berupa pasir atau grit yang terkandung di dalam air limbah domestik sekaligus mencegah terjadinya akumulasi grit pada akhir pengolahan, menghindari penggunaan pompa berlebih, dan meningkatkan

efisiensi unit pemisahan padatan dan cairan lumpur

Jenis : *Horizontal flow grit chamber*

Material : Beton

Kondisi operasi

a. T (°C) : 25

b. P (atm) : 1

Spesifikasi

a. Panjang bak (m) : 7,31

b. Lebar bak (m) : 2,92

c. Kedalaman (m) : 0,58

d. Freeboard (m) : 0,50

Waktu detensi (detik) : 60

Kapasitas (m³/s) : 0,21

Overflow rate (m³/m².s) : 0,02

Jumlah grit yang

disisihkan (m³/hari)

Jumlah : 1 unit

Harga (Rp) : 52.945.291

3.3.4 Reaktor

Spesifikasi Umum

Kode : R-01

Fungsi : Tempat terjadinya reaksi elektrolisis air menjadi biohidrogen dan koagulasi flokulasi kontaminan pada limbah air domestik

Jenis/Tipe : *Electrocoagulator*

Mode operasi : *Batch*

Jumlah : 4

Harga (Rp) : 10.041.411.149

Kondisi Operasi

Suhu (°C) : 25

Tekanan (atm) : 1

Kondisi proses : Non-isotermal

Konstruksi dan Material

Bahan konstruksi : *PP Steel*

Panjang *cell* (m) : 2,1

Lebar *cell* (m) : 1,9

Tinggi total (m) : 1,7

Jenis *head* : *Flat*

Spesifikasi Khusus

Tabel 3. 2 Spesifikasi reaktor

Spesifikasi dan Satuan		
a.	Kapasitas (m ³ /jam)	15,04
b.	Waktu tinggal (menit)	30
c.	Kuat arus (kA)	24,88
d.	Rapat arus (A/m ²)	10.327,25
e.	Material elektroda	Aluminium
f.	Panjang elektroda (m)	1,51
g.	Lebar elektroda (m)	1,75
h.	Jarak antar elektroda (mm)	20
i.	Hambatan listrik (Ω)	0,00001
j.	Daya (kW)	12.483,18

3.3.5 Separator

Nama dan Kode	:	Separator / S-01
Fungsi	:	Memisahkan gas H ₂ dari campuran limbah cair, <i>sludge</i> dan flok
Jenis	:	<i>Anaerobic digester</i>
Tipe	:	<i>Upflow anaerobic sludge blanket</i>
Material	:	<i>Stainless steel AISI 304</i>
Kondisi operasi		
a. T (°C)	:	28,49
b. P (atm)	:	1

Spesifikasi

Shell

- a. Volume (m³) : 92
- b. Tinggi (m) : 8
- c. Panjang (m) : 4,80
- d. Lebar (m) : 2,40

Gas holder

- a. Panjang (m) : 3
- b. Lebar bagian atas (m) : 0,25

Hydraulic Retention Time : 4,01

(jam)

Kecepatan *upflow* (m/jam) : 1,99

Beban organik (kg : 0,03

COD/m³.hari)

Jumlah : 1 unit

Harga (Rp) : 195.701.797

3.3.6 Adsorber

Nama dan kode : Adsorber / AD-01

Fungsi : Menyerap impuritas dari gas H₂ untuk meningkatkan kemurniannya menjadi 99,99%

Jenis : *Pressure Swing Adsorber Multibed*

Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA-240 Grade 316*

Kondisi operasi

- a. Suhu (°C) : 30
- b. Tekanan (atm) : 6,02

Spesifikasi

Shell

- a. Diameter dalam : 2,71
(m)
- b. Tinggi (m) : 7,88
- c. Tebal (in) : $\frac{3}{4}$

Head

- a. Jenis : *Torrispherical head*
- b. Tebal (in) : $\frac{3}{4}$

Adsorben

c. *Zeolite 13X*

- a. Bentuk : *Sphere*
- b. Diameter partikel : 2,90
(mm)

c. Surface area (m²/g) : 585,50

d. Massa (kg) : 78,90

d. *Carbon Molecular Sieve*

- a. Bentuk : Granular

b. Diameter partikel (mm)	: 1,75
c. Surface area (m ² /g)	: 477,50
d. Massa (kg)	: 8,45
Jumlah	: 2 unit
Harga (Rp)	: 1.239.693.748

3.3.7 Tangki H₂

Tabel 3. 3 Spesifikasi Tangki H₂

Tangki	TK-02	
Fungsi	Menyimpan produk H ₂ dengan kemurnian 99,99%	
Lama penyimpanan (hari)	7	
Fasa	Gas	
Jumlah tangki	1	
Jenis tangki	Bola	
Kondisi operasi	T (°C)	30
	P (atm)	640,16
Spesifikasi	Bahan konstruksi	<i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
	Volume tangki (m ³)	3,69
	Diameter (m)	19,20
	Tebal <i>shell</i> (in)	5,50
Harga (Rp)	48.795.267.706	

Langkah-langkah keamanan:

Yang perlu diperhatikan adalah pada pemeliharaan tangki tersebut agar meminimalisir resiko ledakan atau kejadian berbahaya lainnya.

- i. Jangan letakkan tabung gas bertekanan tinggi di tempat yang suhunya bisa melebihi 40 °C.

Suhu rata-rata di kota Bandung adalah sekitar 25°C. Sepanjang tahun, suhu biasanya bervariasi dari 18°C hingga 29°C dan jarang di bawah 16°C atau di atas 32°C. Maka dari itu, tangki berada pada kondisi aman.

- ii. Akibat tekanan tinggi, jarak bahaya yang diperlukan bisa sangat besar. Oleh karena itu, untuk mengurangi biaya sistem dan infrastruktur yang diperlukan, ada kebutuhan untuk mengembangkan sistem rekayasa inovatif yang dapat mengurangi jarak ini dengan aman (mempertimbangkan pelepasan hidrogen yang tidak dinyalakan dan *jet fire*).

PRD (*Pressure Relief Device*) yang dirancang dan dipasang dengan benar harus menghasilkan *jet fire* dengan panjang nyala api sesingkat mungkin atau, dalam kasus pelepasan yang tidak disengaja, *cloud* yang mudah terbakar dengan dimensi terkecil.

- iii. Mitigasi hidrogen embrittlement (HE). Embrittlement adalah suatu proses, di mana berbagai logam, terutama baja berkekuatan tinggi, menjadi rapuh (yaitu kehilangan keuletannya) dan retak setelah terkena hidrogen.
- Pengurangan laju korosi (penggunaan inhibitor atau pelapis permukaan).
 - Menjaga kondisi kering selama proses pengelasan.
 - Penggunaan gas kemurnian tinggi.
 - Penggunaan baja bersih (deoxidized).

- Pemilihan bahan (penambahan: vanadium (V) menjadi baja feritik; elemen langka menjadi baja feritik; nikel, karbon dan mangan menjadi baja austenitik).
- Paduan dengan kromium, molibdenum, tungsten.
- Perlakuan panas (pembakaran) untuk menghilangkan hidrogen yang diserap.
- Meminimalkan tegangan sisa.

3.3.8 Tangki Aerasi

Nama dan Kode	:	Tangki Aerasi / TA-01
Fungsi	:	Menyisihkan senyawa organik yang dapat didegradasi secara biologis dalam kondisi aerobik
Jenis	:	<i>Complete mix activated sludge</i>
Material	:	Beton
Kondisi operasi		
a. T (°C)	:	28,49
b. P (atm)	:	1
Spesifikasi		
a. Panjang bak (m)	:	8
b. Lebar bak (m)	:	4
c. Kedalaman (m)	:	4,50
Waktu detensi (hari)	:	3,60
Kapasitas (m ³ /hari)	:	39,71

Kebutuhan aerator (buah)	: 13
Jumlah	: 1 unit
Harga (Rp)	: 165.987.000

3.3.9 *Settling Tank*

Nama dan Kode	: <i>Settling Tank / ST-01</i>
Fungsi	: Memisahkan lumpur dari mixed liquor effluen tangki aerasi dan untuk mengentalkan lumpur yang diresirkulasi
Jenis	: <i>Complete mix activated sludge</i>
Material	: Beton
Kondisi operasi	
a. T (°C)	: 28,49
b. P (atm)	: 1
Spesifikasi	
a. Diameter bak (m)	: 9,9
b. Tinggi bak (m)	: 2,54
c. Freeboard (m)	: 0,50
Waktu detensi (hari)	: 5
Overflow rate (m ³ /m ² hari)	: 0,51
Solid loading (kg/ m ² hari)	: 0,09
Kapasitas (m ³ /jam)	: 1,65
Jumlah	: 1 unit

Harga (Rp) : 430.448.657

3.3.10 Bak Klorinasi

Nama	:	Bak Klorinasi
Kode	:	BK-01
Fungsi	:	Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air untuk membunuh mikroorganisme berbahaya sebelum dibuang ke lingkungan
Jenis	:	Tangki silinder berpengaduk
Material	:	Polietilen
Kondisi operasi		
a. T (°C)	:	28,49
b. P (atm)	:	1
Spesifikasi		
a. Kapasitas (m ³)	:	1,24
b. Diameter (m)	:	1,17
c. Tinggi (m)	:	1,17
Waktu kontak (menit)	:	45
Kebutuhan kaporit (kg)	:	0,009
Jumlah	:	1 unit
Harga (Rp)	:	7.338.817

3.3.11 Kompresor

Tabel 3. 4 Spesifikasi Kompresor

Kode	C-01	C-02
Fungsi	Menaikkan tekanan gas H ₂ sebelum masuk ke Adsorber (AD-01)	Menaikkan tekanan H ₂ dari Adsorber (AD-01) sebelum masuk ke Tangki Penyimpanan H ₂ (TK-02)
Jenis	<i>Centrifugal Compressor</i>	<i>Reciprocating Compressor</i>
<i>Suction Pressure (atm)</i>	1	6,02
<i>Discharge Pressure (atm)</i>	6,02	640,16
<i>Suction Temperature (°C)</i>	28,49	30
<i>Discharge Temperature (°C)</i>	89,36	152,45
Kapasitas (m ³ /jam)	2442,43	1303,71
<i>Compression ratio</i>	6,02	3,20
Single/Multistage	Single	Multistage 4 Stage
Daya Motor (Watt)	372.850	1.304.975
Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>
Harga (Rp)	2.884.822.610	22.951.576.111

3.3.12 Blower

Tabel 3. 5 Spesifikasi Blower

Nama	<i>Blower 1</i>	<i>Blower 2</i>
Kode	BL-01	BL-02
Fungsi	Mengalirkan udara menuju Separator (S-01)	Mengalirkan udara menuju Tangki Aerasi (TA-01)
Jenis	<i>Centrifugal blower</i>	<i>Centrifugal blower</i>
Material	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>
Kapasitas / Kebutuhan Udara (m ³ /jam)	1889,74	118,12
Daya Motor (Watt)	46.186,99	2085,07
Jumlah	1	1
Harga (Rp)	70.759.800	10.886.123

3.3.13 Pompa

Tabel 3. 6 Spesifikasi Pompa

Nama	Pompa-01	Pompa-02	Pompa-03	Pompa-04
Kode	P-01	P-02	P-03	P-04
Fungsi	Mengalirkan air limbah dari Sumur Pengumpul (TK-01) menuju <i>Screen Chamber</i> (SC-01)	Mengalirkan air limbah dari <i>Screen Chamber</i> (SC-01) menuju <i>Grit Chamber</i> (GC-01)	Mengalirkan air limbah dari <i>Grit Chamber</i> (GC-01) menuju Reaktor Elektrokoagulasi (R-01)	Mengalirkan air limbah dari Reaktor (R-01) menuju Separator (SP-01)
Jenis	<i>Submersible pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>
Viskositas (cP)	1,07	1,07	1,07	1,12
Kapasitas (m ³ /jam)	15,04	15,04	15,04	22,54
Diameter (mm)	88,90	88,90	88,90	114,30
<i>Pump Head</i> (m)	2,29	1,33	1,25	6,31
Suhu Fluida (°C)	25	25	25	28,49
Instalasi	Vertikal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
<i>Submersibility</i>	<i>Immersed</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>
Daya Motor (Watt)	248,97	124,28	124,28	745,7
Bahan	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>
Jumlah	1	1	1	1
Harga (Rp)	170.549.261	139.705.246	210.465.046	246.752.123

Tabel 3. 5 Spesifikasi Pompa (Lanjutan)

Nama	Pompa-05	Pompa-06	Pompa-07
Kode	P-05	P-06	P-07
Fungsi	Mengalirkan air limbah dari Separator (SP-01) menuju Tangki Aerasi (TA-01)	Mengalirkan air limbah dari Tangki Aerasi (TA-01) menuju <i>Settling Tank</i> (ST-01)	Mengalirkan air limbah dari <i>Settling Tank</i> (ST-01) menuju Bak Klorinasi (BK-01)
Jenis	<i>Rotary pump</i>	<i>Rotary pump</i>	<i>Rotary pump</i>
Viskositas (cP)	0,96	0,96	0,96
Kapasitas (m ³ /jam)	1,65	1,65	1,65
Diameter (mm)	33,53	33,53	33,53
<i>Pump Head</i> (m)	3,78	1,80	2,07
Suhu Fluida (°C)	28,49	28,49	28,49
Instalasi	Horizontal	Horizontal	Horizontal
<i>Submersibility</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>
Daya Motor (Watt)	37,285	37,285	37,285
Bahan	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>
Jumlah	1	1	1
Harga (Rp)	29.029.661	29.029.661	29.029.661

3.3.14 Cooler

Nama	: Cooler-01
Kode	: CL-01
Fungsi	: Menurunkan suhu gas H ₂ dari Kompresor (C-01) sebelum masuk ke Adsorber (AD-01)
Jenis	: Double Pipe Heat Exchanger
Bahan konstruksi	: Stainless Steel SA-167 type 316
Jumlah alat	: 1
Harga (Rp)	: 30.844.015

Tabel 3. 7 Spesifikasi Cooler-01

<i>Operating Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	Air (H ₂ O)		Gas H ₂	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid flowrate (kg/jam)</i>	76,013			
<i>Vapor flowrate (kg/jam)</i>			1.145,975	
<i>Temperature (°C)</i>	25	40	89	30
<i>Pressure (atm)</i>	1	0,990	6,022	6,018

<i>Mechanical Design</i>			
<i>Annulus</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length (ft)</i>	15	<i>Length</i>	15
<i>Hairpin</i>	1	<i>Hairpin</i>	1
<i>ID (in)</i>	1,66	<i>ID (in)</i>	1,38
		<i>OD (in)</i>	1,66
		<i>A (ft²)</i>	9,33
$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$	0,002	$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$	0,005
Rd_{cal}/Rd_{min}	268,320	Rd_{cal}/Rd_{min}	268,320

Kode	: CL-02
Fungsi	: Menurunkan suhu gas H ₂ dari Kompresor (C-02) sebelum masuk ke Tangki Penyimpanan H ₂ (TK-02)
Jenis	: <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Bahan konstruksi	: <i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>
Jumlah alat	: 1
Harga (Rp)	: 32.658.369

Tabel 3. 8 Spesifikasi *Cooler-02*

<i>Operating Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	Air (H ₂ O)		Gas H ₂	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid flowrate (kg/jam)</i>	119,440			
<i>Vapor flowrate (kg/jam)</i>			631,310	
<i>Temperature (°C)</i>	25	50	152	30
<i>Pressure (atm)</i>	1	1	640,161	640,158

<i>Mechanical Design</i>			
<i>Annulus</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length (ft)</i>	15	<i>Length</i>	15
<i>Hairpin</i>	1	<i>Hairpin</i>	1
<i>ID (in)</i>	1,66	<i>ID (in)</i>	1,38
		<i>OD (in)</i>	1,66
		<i>A (ft²)</i>	9,33
$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$	0,0002	$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$	0,005
Rd_{cal}/Rd_{min}	292,44	Rd_{cal}/Rd_{min}	292,44

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Total

Tabel 3. 9 Neraca massa total

Komponen	Massa Input (kg/jam)				Massa Output (kg/jam)							
	1	4'	6'	19	3	5	8	11	13	16	17	18
CH ₃ COOH	0,20	-	-	-	-	-	-	0,130	-	0,06	-	-
C ₅ H ₁₀ O ₂	0,01	-	-	-	-	-	0,002	0,003	0,00002	-	-	-
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-
CH ₃ CH ₂ CO ₂ H	0,03	-	-	-	-	-	0,030	0,060	-	-	-	-
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CO ₂ H	0,04	-	-	-	-	-	0,003	0,030	-	0,01	-	-
C ₅ H ₉ NO ₄	0,05	-	-	-	-	-	-	0,040	-	0,02	-	-
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,01	-	-	-	-	-	0,003	0,010	0,00004	-	-	-
BOD	8,80	-	-	-	0,66	0,20	5,460	2,430	0,00354	0,04	-	-
COD	22,13	-	-	-	-	0,55	20,590	0,930	0,00167	0,05	-	-
N	0,38	-	-	-	-	-	0,300	0,070	-	0,01	-	-
P	0,01	-	-	-	-	-	0,010	-	-	-	-	-
SS	8,04	-	-	-	0,72	0,37	6,660	0,260	0,00027	0,02	-	-
Fe	0,02	-	-	-	-	-	0,010	-	0,00017	-	-	-
H ₂ O	15.020,37	-	-	-	-	-	0,020	-	0,00026	1.652,22	-	-
H ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	631,27	111,40
Al	-	7.510,19	-	-	-	-	19.309,520	-	-	-	-	-
Al(OH) ₃	-	-	-	-	-	-	826,120	-	-	-	-	-
Cl ₂	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	0,01	-	-
O ₂	-	-	93,97	-	-	-	-	-	-	-	0,01	93,96
N ₂	-	-	309,33	-	-	-	-	-	-	-	0,03	309,30
Subtotal	15.060,16	7510,19	403,30	0,01	1,38	1,12	20168,740	3,960	0,00600	1.652,47	631,31	514,66
TOTAL	22.973,65				22973,65							

3.4.2 Neraca Massa Alat

a. *Screen Chamber*

Tabel 3. 10 Neraca massa *Screen Chamber*

Komponen	Massa Input (Kg/jam)	Massa Output (Kg/jam)	
	Arus 1	Arus 2	Arus 3
CH ₃ COOH	0,1956	0,1956	
C ₅ H ₁₀ O ₂	0,0051	0,0051	-
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,0830	0,0830	-
CH ₃ CH ₂ CO ₂ H	0,0259	0,0259	-
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CO ₂ H	0,0407	0,0407	-
C ₅ H ₉ NO ₄	0,0541	0,0541	-
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0116	0,0116	-
BOD	8,8031	8,1429	0,6602
COD	22,1308	22,1308	-
N	0,3759	0,3759	-
P	0,0120	0,0120	-
SS	8,0358	7,3125	0,7232
Fe	0,0150	0,0150	-
H ₂ O	15.020,3707	15.020,3707	-
Subtotal	15.060,1594	15.058,7760	1,3835
TOTAL	15.060,1594	15.060,1594	

b. *Grit Chamber*

Tabel 3. 11 Neraca massa *Grit Chamber*

Komponen	Massa Input (Kg/jam)	Massa Output (Kg/jam)	
	Arus 2	Arus 4	Arus 5
CH ₃ COOH	0,1956	0,1956	-
C ₅ H ₁₀ O ₂	0,0051	0,0051	-
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,0830	0,0830	-
CH ₃ CH ₂ CO ₂ H	0,0259	0,0259	-
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CO ₂ H	0,0407	0,0407	-
C ₅ H ₉ NO ₄	0,0541	0,0541	-
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0116	0,0116	-
BOD	8,1429	7,9393	0,2036
COD	22,1308	21,5775	0,5533
N	0,3759	0,3759	-
P	0,0120	0,0120	-
SS	7,3125	6,9469	-

Tabel 3. 10 Neraca massa Grit Chamber (Lanjutan)

Fe	0,0150	0,0150	-
H ₂ O	15.020,3707	15.020,3707	-
Subtotal	15.058,7760	15.057,6535	1,1225
TOTAL	15.058,7760	15.058,7760	

c. Reaktor

Tabel 3. 12 Neraca massa Reaktor

Komponen	Massa Input (Kg/jam)	Massa Output (Kg/jam)
	Arus 4	Arus 6
CH ₃ COOH	0,1956	0,1956
C ₅ H ₁₀ O ₂	0,0051	0,0051
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,0830	0,0830
CH ₃ CH ₂ CO ₂ H	0,0259	0,0259
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CO ₂ H	0,0407	0,0407
C ₅ H ₉ NO ₄	0,0541	0,0541
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0116	0,0116
BOD	8,1429	7,9393
COD	22,1308	21,5775
N	0,3759	0,3759
P	0,0120	0,0120
SS	7,3125	6,9469
Fe	0,0150	0,0150
H ₂ O	15.020,3707	1.652,2408
H ₂	-	742,6739
Al	7.510,1853	826,1204
Al(OH) ₃	-	19.309,5210
TOTAL	22.567,8388	22.567,8388

d. Separator

Tabel 3. 13 Neraca massa Separator

Komponen	Massa Input (Kg/jam)	Massa Output (Kg/jam)		
	Arus 6	Arus 7	Arus 8	Arus 9
CH ₃ COOH	0,1956	-		0,1956
C ₅ H ₁₀ O ₂	0,0051	-	0,0016	0,0035
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,0830	-		0,0830
CH ₃ CH ₂ CO ₂ H	0,0259	-	0,0259	
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CO ₂ H	0,0407	-	0,0035	0,0373
C ₅ H ₉ NO ₄	0,0541	-		0,0541

Tabel 3. 13 Neraca massa Separator (Lanjutan)

C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0116	-	0,0035	0,0081
BOD	7,9393	-	5,4627	2,4766
COD	21,5775	-	20,5911	0,9865
N	0,3759	-	0,3007	0,0752
P	0,0120	-	0,0120	-
SS	6,9469	-	6,6604	0,2865
Fe	0,0150	-	0,0148	0,0003
H ₂ O	1.652,2408	-	0,0223	1.652,22
H ₂	742,6739	742,6739	-	-
Al	826,1204	-	-	826,1204
Al(OH) ₃	19.309,5210	-	-	19.309,52
O ₂	93,9732	93,9732	-	-
N ₂	309,3283	309,3283	-	-
Subtotal	22.971,1403	1.145,9753	20.168,74	1.656,42
TOTAL	22.971,1403	22.971,1403		

e. Adsorber

Tabel 3. 14 Neraca massa Adsorber

Komponen	Massa Input (Kg/jam)	Massa Output (Kg/jam)	
	Arus 7	Arus 17	Arus 18
H ₂	742,6739	631,2728	111,4011
O ₂	93,9732	0,0094	93,9638
N ₂	309,3283	0,0309	309,2974
Subtotal	1.145,9753	631,3131	514,6622
TOTAL	1.145,9753	1.145,9753	

f. Tangki Aerasi

Tabel 3. 15 Neraca massa Tangki Aerasi

Komponen	Massa Input (Kg/jam)		Massa Output (Kg/jam)	
	Arus 9	Arus 12	Arus 10	Arus 11
CH ₃ COOH	0,1956	-	0,0630	0,1326
C ₅ H ₁₀ O ₂	0,0035	0,0016	0,0016	0,0035
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,0830	-	0,0267	0,0563
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CO ₂ H	0,0373	-	0,0120	0,0253
C ₅ H ₉ NO ₄	0,0541	-	0,0174	0,0367
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0081	0,0035	0,0037	0,0078
BOD	2,4766	0,3021	0,3473	2,4314

Tabel 3. 14 Neraca massa Tangki Aerasi (Lanjutan)

COD	0,9865	0,1426	0,1976	0,9314
N	0,0752	-	0,0075	0,0677
SS	0,2865	0,0229	0,0464	0,2631
Fe	0,0003	0,0148	0,0150	-
H ₂ O	1.652,22	0,0223	1.652,2408	-
Subtotal	1.656,42	0,5098	1.652,9793	3,9557
TOTAL	1.656,9350		1.656,9350	

g. *Settling Tank*Tabel 3. 16 Neraca massa *Settling Tank*

Komponen	Massa Input (Kg/jam)	Massa Output (Kg/jam)	
	Arus 10	Arus 14	Arus 15
CH ₃ COOH	0,0630	-	0,0630
C ₅ H ₁₀ O ₂	0,0016	0,0016	-
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,0267	-	0,0267
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CO ₂ H	0,0120	-	0,0120
C ₅ H ₉ NO ₄	0,0174	-	0,0174
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0037	0,0035	0,0002
BOD	0,3473	0,3057	0,0417
COD	0,1976	0,1442	0,0533
N	0,0075	-	0,0075
SS	0,0464	0,0232	0,0232
Fe	0,0150	0,0150	0,0001
H ₂ O	1.652,2408	0,0226	1.652,2182
Subtotal	1.652,9793	0,5158	1.652,4635
TOTAL	1.652,9793	1.652,9793	

h. *Sludge*Tabel 3. 17 Neraca massa *Sludge*

Komponen	Massa Input (Kg/jam)	Massa Output (Kg/jam)	
	Arus 14	Arus 12	Arus 13
C ₅ H ₁₀ O ₂	0,0016	0,0016	-
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0035	0,0035	-
BOD	0,3057	0,3021	0,0035

Tabel 3. 16 Neraca massa Sludge (Lanjutan)

COD	0,1442	0,1426	0,0017
SS	0,0232	0,0232	0,0003
Fe	0,0150	0,0150	0,0002
H ₂ O	0,0226	0,0226	0,0003
Subtotal	0,5158	0,5158	0,0060
TOTAL	0,5158	0,5158	

i. Bak Klorinasi

Tabel 3. 18 Neraca massa Bak Klorinasi

Komponen	Massa Input (Kg/jam)		Massa Output (Kg/jam)
	Arus 15	Arus 19	Arus 16
CH ₃ COOH	0,0630	-	0,0630
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,0267	-	0,0267
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CO ₂ H	0,0120	-	0,0120
C ₅ H ₉ NO ₄	0,0174	-	0,0174
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0002	-	0,0002
BOD	0,0417	-	0,0417
COD	0,0533	-	0,0533
N	0,0075	-	0,0075
SS	0,0232	-	0,0232
Fe	0,0001	-	0,0001
H ₂ O	1.652,22	-	1.652,22
Cl ₂	-	0,0083	0,0083
Subtotal	0,5158	0,0083	1.652,4718
TOTAL	1.652,4718		1.652,4718

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Screen Chamber (SC-01)

Tabel 3. 19 Neraca panas Screen Chamber (SC-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	63.046,96	
Q2		63.046,96
Total	63.046,96	63.046,96

3.5.2 Grit Chamber (GC-01)

Tabel 3. 20 Neraca panas Grit Chamber (GC-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	63.046,96	
Q2		63.046,96
Total	63.046,96	63.046,96

3.5.3 Reaktor (R-01)

Tabel 3. 21 Neraca panas Reaktor (R-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	69.631,72	-
Q2	-	26.379,20
Q kawat	-	43.252,52
Total	69.631,72	69.631,72

3.5.4 Separator (SP-01)

Tabel 3. 22 Neraca panas Separator (S-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	26.815,00	-
Q2	-	26.815,00
Total	26.815,00	26.815,00

3.5.5 Kompresor (C-01)

Tabel 3. 23 Neraca panas Kompresor (C-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	9.868,21	-
Q2	-	10.265,19
Q proses	396,98	-
Total	10.265,19	10.265,19

3.5.6 Cooler (CL-01)

Tabel 3. 24 Neraca panas Cooler (CL-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	10.265,19	-
Q2	-	9.879,24
Q pendingin	-	385,95
Total	10.265,19	10.265,19

3.5.7 Adsorber (AD-01)

Tabel 3. 25 Neraca panas Adsorber (AD-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	9.879,24	-
Q2	-	9.879,24
Total	9.879,24	9.879,24

3.5.8 Kompresor (C-02)

Tabel 3. 26 Neraca panas Kompresor (C-02)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	8.048,43	-
Q2	-	8.651,06
Q proses	602,62	-
Total	8.651,06	8.651,06

3.5.9 Cooler (CL-02)

Tabel 3. 27 Neraca panas Cooler (CL-02)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	8.651,06	-
Q2	-	8.048,43
Q pendingin	-	602,62
Total	8.651,06	8.651,06

3.5.10 Tangki Aerasi (AT-01)

Tabel 3. 28 Neraca panas Tangki Aerasi (AT-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	6.928,50	-
Q2	-	6.928,50
Total	6.928,50	6.928,50

3.5.11 Settling Tank (ST-01)

Tabel 3. 29 Neraca panas *Settling Tank* (ST-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	6.928,14	-
Q2	-	6.928,14
Total	6.928,14	6.928,14

3.5.12 Bak Klorinasi (BK-01)

Tabel 3. 30 Neraca panas Bak Klorinasi (BK-01)

Komponen Panas	Panas Masuk (kJ/Jam)	Panas Keluar (kJ/Jam)
Q1	6.928,04	-
Q2	-	6.928,04
Total	6.928,04	6.928,04

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Dalam menjalankan kegiatan produksi dalam suatu pabrik tentunya diperlukan pasokan bahan baku, sumber daya manusia, dan faktor input lainnya. Lokasi pabrik yang dekat dengan sumber bahan baku dan pasar dapat mempermudah dalam menjangkau konsumen secara langsung. Lokasi pabrik yang tepat dapat menekan biaya produksi serta pabrik dapat beroperasi secara efektif dan efisien sehingga pabrik mampu bersaing dengan perusahaan lain. Oleh karena itu, strategi dalam menentukan lokasi pabrik merupakan hal yang penting untuk menentukan keberlangsungan pabrik yang akan didirikan. Terdapat dua faktor yang perlu diperhatikan dalam pendirian pabrik, diantaranya :

4.1.1. Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

1. Ketersediaan Bahan Baku

Berdasarkan faktor ketersediaan bahan baku, lokasi pabrik akan dipilih berdasarkan letak sumber bahan baku, kapasitas, dan lama waktu ketersediaan bahan baku. Kota Bandung yang merupakan Ibu Kota Jawa Barat merupakan daerah yang memiliki potensi air limbah cair domestik yang besar akibat dari padatnya jumlah penduduk di kota tersebut. Tingginya kandungan BOD dalam air limbah sebesar 94 ribu kg/hari BOD menyebabkan air limbah domestik kota Bandung memerlukan pengelolaan lebih lanjut. Disamping itu air limbah dengan kadar BOD yang tinggi menjadi sumber pencemar beberapa sungai di

kota Bandung seperti sungai Citarum. Oleh karena itu, kota Bandung dipilih sebagai penyedia bahan baku berupa air limbah domestik.

2. Pemasaran

Produk hidrogen memiliki tujuan pemasaran yang luas baik dalam negeri maupun luar negeri karena penggunaannya dalam berbagai bidang khususnya sebagai bahan bakar pada industri. Lokasi Bandung yang strategis dengan kawasan industrinya memiliki prospek yang baik sebagai tempat pemasaran, selain itu letaknya yang juga berdekatan dengan kawasan industri di sekitar Jabodetabek. Hidrogen yang dihasilkan dapat digunakan dalam kegiatan produksi pada perusahaan farmasi, kertas dan tekstil seperti PT Mitsubishi Tanabe Pharma Indonesia, PT. Metal and Paper Industries (MEPAR), dan Famatex Textile And Industry, Pt.

3. Utilitas

Kebutuhan penunjang atau utilitas dapat diperoleh dengan mudah karena lokasi pabrik yang dekat dengan sumber penyedia air, listrik, dan bahan bakar. Kebutuhan air dapat dipenuhi dari PDAM Tirta Raharja, sedangkan kebutuhan listrik dan bahan bakar diperoleh dari PLN dan PT. Pertamina.

4. Kemudahan Transportasi

Kegiatan pemasokan bahan baku dan pendistribusian produk hasil produksi dapat dilakukan melalui jalur darat dan jalur laut. Letak geografis yang strategis memudahkan sarana dan prasarana kegiatan distribusi seperti jaringan jalan, bandara, kereta api, angkutan umum serta pelabuhan.

5. Tenaga Kerja

Dalam menjalankan fungsi pabrik, tenaga kerja merupakan faktor utama yang menentukan keberlangsungan suatu industri mulai dari bagian administrasi, pengolahan dan produksi, hingga bagian distribusi dan pemasaran. Oleh karena itu dipilihlah tenaga kerja yang dapat bekerja secara kompeten. Ketersediaan tenaga kerja dapat diperoleh dari daerah sekitaran pabrik maupun dari luar daerah, yang dapat terdiri dari tenaga kerja berpendidikan tinggi, menengah maupun tenaga kerja kasar.

4.1.2. Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

1. Keadaan Masyarakat

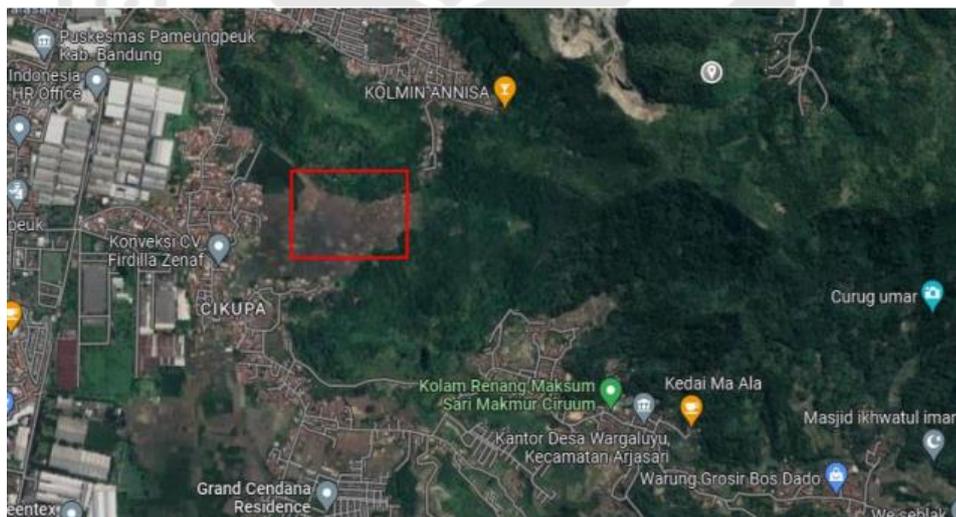
Dengan didirikannya pabrik Hidrogen di lokasi yang ditentukan dirasa akan mendapatkan dukungan dari masyarakat karena lapangan pekerjaan semakin bertambah, proses operasi pabrik yang mengolah limbah dari masyarakat secara gratis juga akan memudahkan urusan masyarakat sehingga sumber air (contoh: sungai) tidak akan tercemar.

2. Kondisi Iklim

Lokasi yang dipilih dalam pendirian pabrik memiliki iklim tropis yang cukup baik untuk menjalankan suatu pabrik. Kondisi geografis wilayah berupa dataran rendah dengan struktur tanahnya yang rata dan baik. Daerah ini merupakan daerah yang aman karena bebas dari bencana alam seperti gempa bumi, banjir dan tanah longsor, sehingga kegiatan operasi pabrik dapat berjalan dengan lancar.

3. Peraturan Pemerintah

Kota Bandung merupakan salah satu kota kawasan sentra industri yang mana pendirian perusahaan di kota Bandung mendapatkan antusiasme dan apresiasi dari masyarakat terhadap produk-produk yang dipasarkan perusahaan. Pemerintah Kota Bandung sangat terbuka dengan adanya investor yang ingin membangun perusahaan karena pemerintah telah memberikan kemudahan dalam pengembangan industri seperti hal perizinan, pajak, dan lain-lain yang berkaitan dengan teknis pendirian dan pembangunan pabrik. Berdasarkan faktor - faktor tersebut, maka Pabrik Biohidrogen direncanakan berlokasi di Bojongmangu, Kecamatan Pameungpeuk, Kabupaten Bandung, Jawa Barat yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Lokasi pendirian pabrik biohidrogen

4.2 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik merupakan susunan fasilitas fisik yang terdiri dari perlengkapan, tenaga, bangunan, dan sarana lain yang harus memiliki tujuan untuk

memaksimalkan keterkaitan antara petugas pelaksana, aliran barang, aliran informasi dan tata cara yang diperlukan untuk mencapai tujuan secara efektif, efisien, ekonomis dan aman. Oleh karena itu dalam perencanaan tata letak peralatan proses harus dirancang sedemikian rupa sehingga efisien. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam menentukan tata letak pabrik antara lain :

1. Perluasan pabrik harus menjadi hal yang perlu dipertimbangkan sedari awal agar tidak menimbulkan permasalahan dikemudian hari. Diperlukan persiapan di beberapa area khusus yang nantinya dipakai sebagai lokasi perluasan pabrik bila dimungkinkan penambahan kapasitas pabrik sehingga diperlukan penambahan peralatan proses.
2. Harga tanah merupakan faktor yang dapat membatasi kemampuan dalam penyediaan awal. Harga tanah yang mahal memerlukan efisiensi yang tinggi terhadap pemakaian ruangan. Pembangunan fasilitas pabrik harus disesuaikan dengan luas area yang tersedia.
3. Kualitas, kuantitas dan letak bangunan harus memenuhi standar sebagai bangunan pabrik baik dalam hal kekuatan bangunan fisik maupun perlengkapannya, seperti ventilasi, insulasi dan instalasi. Penempatan bangunan yang teratur akan memberikan kemudahan dalam pekerjaan dan perawatan.
4. Keamanan merupakan faktor yang paling penting dalam penentuan tata letak pabrik. Meskipun telah dilengkapi dengan alat-alat pengaman, seperti *hydrant*, reservoir air yang mencukupi, penahan ledakan, dan asuransi pabrik, faktor-faktor pencegah harus tetap disediakan seperti jarak yang cukup antar ruang

untuk tempat-tempat yang rawan akan bahaya ledakan dan kebakaran misalnya tangki bahan baku, produk, dan bahan bakar.

5. Fasilitas berupa jalan raya untuk pengangkutan bahan baku, produk dan bahan-bahan lainnya sangat diperlukan. Penempatan jalan tidak boleh mengganggu kegiatan proses atau kelancaran dari tempat yang dilalui.

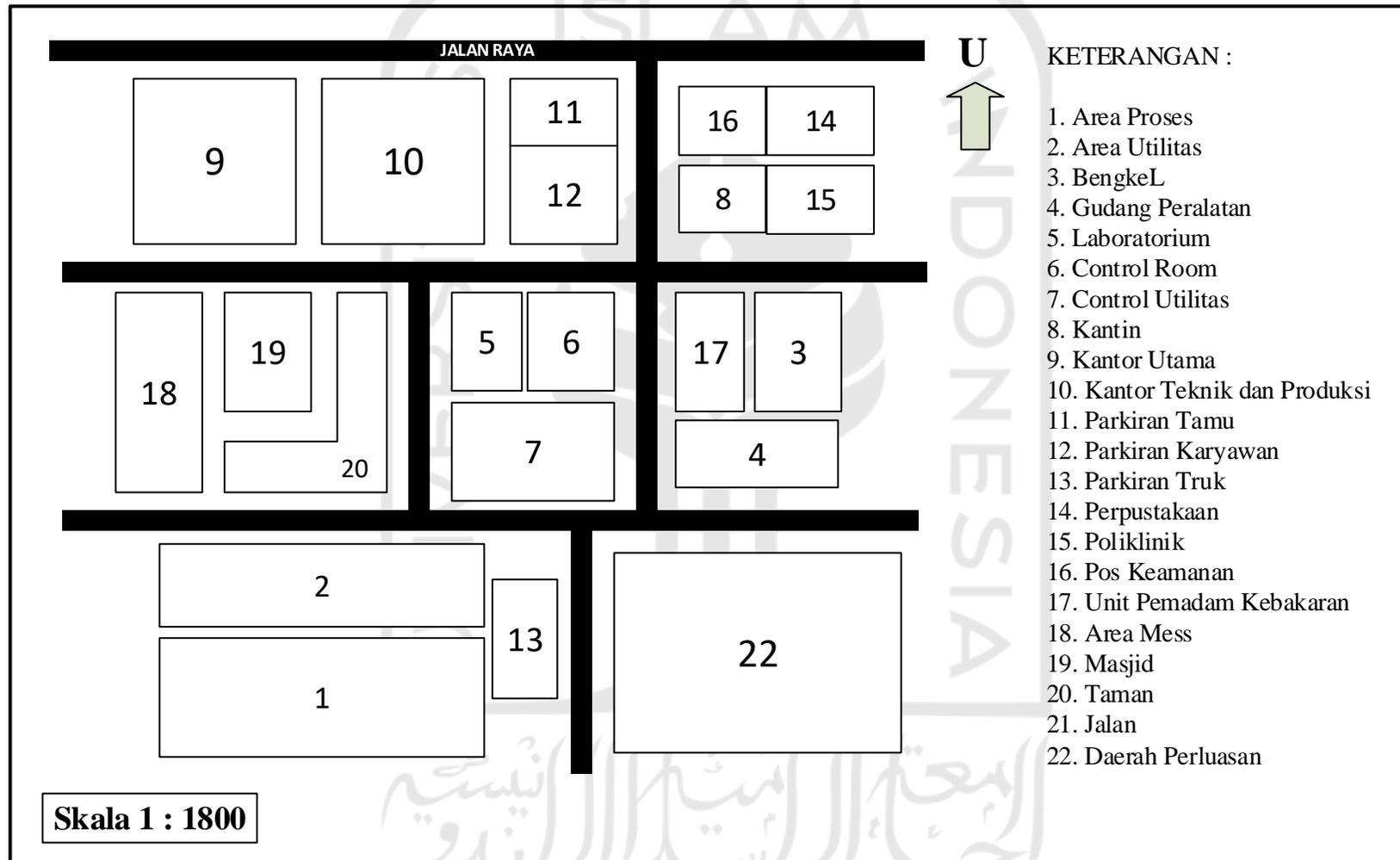
Beberapa keuntungan dari perencanaan tata letak pabrik antara lain :

1. Meningkatkan jumlah produksi
2. Mengurangi waktu tunggu
3. Meminimalkan kegiatan pemindahan barang
4. Pemanfaatan area pabrik, gudang secara optimal
5. Mengoptimalkan pemanfaatan pemakaian mesin, tenaga kerja dan fasilitas produksi lainnya
6. Mengurangi inventory *in-process*
7. Mempersingkat proses manufakturing
8. Memperkecil resiko kecelakaan dan memberikan suana aman terhadap pekerja
9. Mengurangi kemacetan dan kesimpang-siuran
10. Meminimalkan hal yang menyebabkan produk rusak serta kualitas terhadap bahan baku

Pendirian pabrik Biohidrogen direncanakan dibangun pada lahan dengan ukuran sekitar 49.000 m², dan untuk luas total bangunan yang direncanakan sebesar 38.658,95 m². Adapun perinciannya dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Perincian luas tanah

No	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
1	Area Proses	90,00	32,94	2.964,60
2	Area Utilitas	90,00	22,86	2.057,40
3	Bengkel	32,94	23,94	788,58
4	Gudang Peralatan	45,00	18,54	834,30
5	Laboratorium	27,18	19,44	528,38
6	Control Room	27,18	23,94	650,69
7	Control Utilitas	45,00	27,18	1.223,10
8	Kantin	23,40	18,54	433,84
9	Kantor Utama	45,72	45,00	2.057,40
10	Kantor Teknik dan Produksi	45,72	45,00	2.057,40
11	Parkiran Tamu	29,70	18,54	550,64
12	Parkiran Karyawan	29,70	27,18	807,25
13	Parkiran Truk	32,94	18,00	592,92
14	Perpustakaan	29,52	18,90	557,93
15	Poliklinik	29,52	18,90	557,93
16	Pos Keamanan	23,94	18,90	452,47
17	Unit Pemadam Kebakaran	32,94	18,90	622,57
18	Area Mess	54,00	23,94	1.292,76
19	Masjid	32,94	23,94	788,58
20	Taman	100,26	14,40	1.443,74
21	Jalan	2.600,00	5,00	13.000,00
22	Daerah Perluasan	79,56	55,26	4.396,49
Luas Bangunan				38.658,95
Luas Tanah				49.000



Gambar 4. 2 Layout pabrik biohidrogen

4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses

Tata letak alat proses (*Process Layout*) adalah penyusunan tata letak dimana alat yang sejenis atau memiliki fungsi sama ditempatkan pada bagian yang sama. Penyusunan tata letak mesin yang digunakan dalam proses produksi dirancang sedemikian rupa sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar dan menimbulkan kepuasan kerja terhadap karyawan yang dapat berdampak pada peningkatan produktivitas kerja. Dalam perancangan tata letak peralatan proses pada pabrik terdapat beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, antara lain:

4.3.1. Aliran bahan baku dan produk

Kegiatan produksi dapat terjamin kelancaran dan kemanannya dengan memperhatikan faktor aliran bahan baku dan produk yang tepat sehingga akan memberikan keuntungan secara ekonomis. Sistem pemipaan di permukaan tanah perlu diperhatikan sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu lalu lintas kerja.

4.3.2. Kebutuhan Proses

Letak alat proses harus memberikan ruang yang cukup bagi masing-masing alat agar dapat beroperasi secara optimal dengan distribusi utilitas yang mudah.

4.3.3. Operasi

Beberapa peralatan yang membutuhkan perhatian khusus dari operator harus diletakkan dekat dengan *control room*. Peletakan alat seperti katup, tempat pengambilan sampel, dan instrumen diletakkan pada posisi yang mudah dijangkau oleh operator.

4.3.4. Perawatan

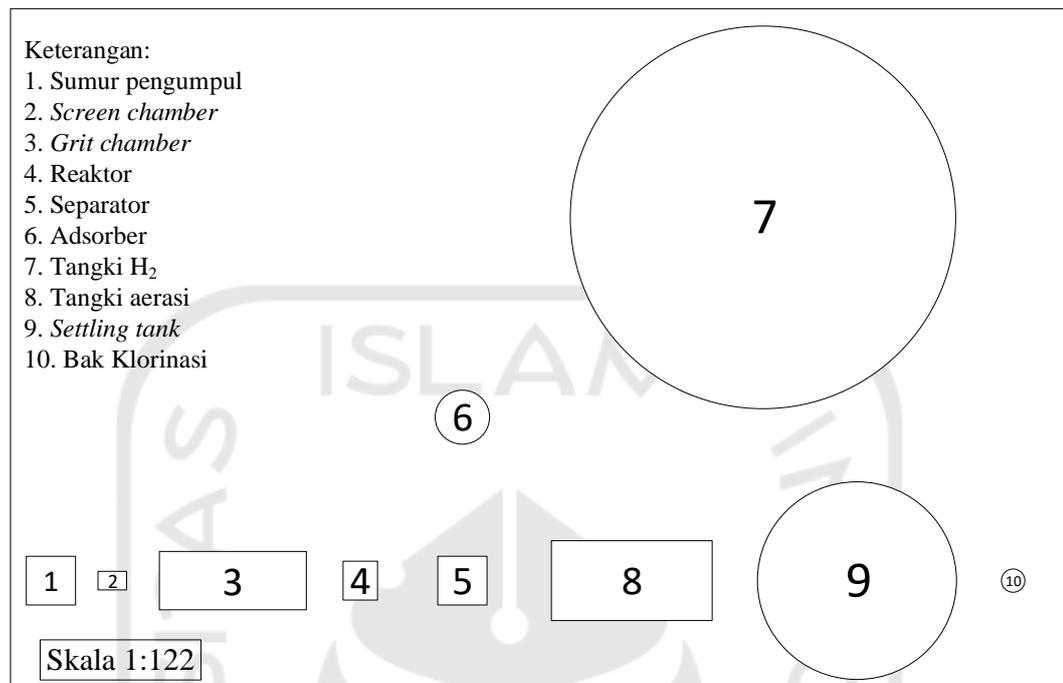
Letak alat-alat proses harus memperhatikan ruangan untuk perawatan. Contohnya pada penggantian dan pembersihan saringan pada bak penyangk material seperti *grit*.

4.3.5. Ekonomi

Penempatan alat-alat proses yang sebaik mungkin dapat memberikan biaya konstruksi dan operasi yang minimal selain itu letak alat proses yang diatur sedemikian rupa dapat menghasilkan sistem pemipaan terpendek dan memperkecil biaya kebutuhan bahan konstruksi.

4.3.6. Aliran udara

Sirkulasi udara yang baik dan arah hembusan angin di dalam dan sekitar area proses perlu diperhatikan untuk menghindari terjadinya pemampatan udara pada suatu tempat yang berisiko terhadap keselamatan kerja.



Gambar 4. 3 Layout alat proses

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1. Bentuk Perusahaan

Bentuk Perusahaan yang direncanakan pada Prarancangan Pabrik Biohidrogen 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. Karena modalnya terdiri dari saham-saham yang dapat diperjualbelikan, perubahan kepemilikan perusahaan bisa dilakukan tanpa perlu membubarkan perusahaan. Beberapa faktor yang menjadi alasan dipilihnya bentuk perusahaan ini adalah sebagai berikut :

1. Kemudahan dalam mendapatkan modal dengan menjual saham perusahaan.
2. Mudah bergerak di pasar modal.

3. Tanggung jawab pemegang saham terbatas, sehingga kelancaran produksi hanya dipegang oleh pimpinan perusahaan. Pemilik dan pengurus perusahaan terpisah satu sama lain (pemilik perusahaan adalah para pemegang saham dan pengurus perusahaan adalah direksi beserta staffnya yang diawasi oleh dewan komisaris) sehingga kelangsungan hidup perusahaan lebih terjamin, karena tidak terpengaruh dengan berhentinya pemegang saham, direksi beserta staffnya, atau karyawan perusahaan.
4. Efisiensi dari manajemen dimana para pemegang saham dapat memilih orang yang ahli sebagai dewan komisaris dan direktur utama yang cukup cakap dan berpengalaman.
5. Lapangan usaha lebih luas karena suatu PT dapat menarik modal yang sangat besar dari masyarakat, sehingga dengan modal ini PT dapat memperluas usahanya.
6. Menjadi badan usaha yang memiliki kekayaan tersendiri yang terpisah dari kekayaan pribadi.
7. Mudah mendapatkan kredit dari bank dengan jaminan perusahaan yang ada.

4.4.2. Struktur Organisasi

Berdasarkan pola hubungan kerja dan wewenang serta tanggung jawab maka struktur organisasi dapat dibedakan menjadi :

1. Bentuk struktur organisasi garis
2. Bentuk struktur organisasi fungsional
3. Bentuk struktur organisasi garis dan staf
4. Bentuk struktur organisasi fungsional dan staf

Bentuk struktur organisasi yang direncanakan akan diterapkan pada pabrik biohidrogen ini adalah struktur organisasi garis dan staf. Hal ini didasarkan atas beberapa pertimbangan berikut:

1. Dapat digunakan oleh setiap organisasi yang bagaimanapun besar dan kompleks susunan organisasi tersebut.
2. Adanya kesatuan dalam pimpinan dan perintah karena terdapat pembagian kewenangan dan kekuasaan serta tugas yang jelas dari pimpinan, staf, dan pelaksana sehingga koordinasi mudah dilaksanakan.
3. Pengambilan yang cepat oleh pimpinan.
4. Bakat dan kemampuan karyawan yang berbeda-beda dapat dikembangkan ke arah spesialisasinya.
5. Perintah berjalan dengan baik dan lancar dari atas ke bawah, sedangkan tanggung jawab, nasihat dan saran, bergerak dari bawah ke atas.

Dalam organisasi garis dan staf, pimpinan atas berperan memegang posisi komando dengan dilengkapi dan didampingi oleh departemen staf yang terdiri dari ahli-ahli di berbagai bidang. Departemen staf memberi nasihat dan pertimbangan kepada pimpinan atas namun tidak berwenang memerintah atau membuat keputusan langsung departemen yang lebih rendah dalam organisasi. Bentuk organisasi garis dan staf pada dasarnya merupakan bentuk organisasi yang melengkapi organisasi garis dengan departemen-departemen beranggotakan staf ahli dalam berbagai bidang.

4.4.3. Uraian Tugas, Wewenang, dan Tanggung Jawab

1. Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS)

Pemegang kekuasaan tertinggi pada struktur organisasi garis dan staf adalah Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) yang dilakukan minimal sekali dalam setahun. Bila ada sesuatu hal, RUPS dapat dilaksanakan secara mendadak sesuai dengan jumlah forum. RUPS dihadiri oleh pemilik saham, Dewan Komisaris, dan Direktur. Hak dan wewenang RUPS adalah sebagai berikut:

- a. Meminta pertanggung-jawaban Dewan Komisaris dan Direktur lewat suatu sidang.
- b. Dengan musyawarah dapat mengganti Dewan Komisaris dan Direktur serta mengesahkan anggota pemegang saham bila mengundurkan diri.
- c. Menetapkan besar laba tahunan yang diperoleh untuk dibagikan, dicadangkan, atau ditanamkan kemabali.

2. Dewan Komisaris

Dewan Komisaris dipilih RUPS untuk mewakili para pemegang saham dalam mengawasi jalannya perusahaan. Dewan Komisaris ini bertanggung jawab kepada RUPS. Tugas-tugas Dewan Komisaris adalah:

- a. Menentukan garis besar kebijaksanaan perusahaan.
- b. Mengadakan rapat tahunan para pemegang saham.
- c. Meminta laporan pertanggung-jawaban Direktur Utama secara berkala.
- d. Melaksanakan pembinaan dan pengawasan terhadap seluruh kegiatan dan pelaksanaan tugas Direktur.

3. Direktur

Direktur merupakan pimpinan tertinggi yang diangkat oleh Dewan Komisaris. Adapun tugas-tugas Direktur adalah:

- a. Memimpin dan membina perusahaan secara efektif dan efisien.
 - b. Menyusun dan melaksanakan kebijaksanaan umum pabrik sesuai dengan kebijaksanaan RUPS.
 - c. Mengadakan kerjasama dengan pihak luar demi kepentingan perusahaan.
 - d. Mewakili perusahaan dalam mengadakan hubungan maupun perjanjian-perjanjian dengan pihak ketiga.
 - e. Merencanakan dan mengawasi pelaksanaan tugas setiap personalia yang bekerja pada perusahaan. Dalam melaksanakan tugasnya, Direktur dibantu oleh Manajer Teknik dan Produksi serta Manajer Umum dan Keuangan.
4. Staf Ahli
- Staf ahli memiliki tugas memberi masukan, baik berupa saran, nasehat, maupun pandangan terhadap segala aspek operasional perusahaan.
5. Sekretaris
- Sekretaris diangkat oleh direktur untuk menangani masalah surat-menyurat untuk pihak perusahaan, menangani kearsipan, dan pekerjaan lain untuk membantu direktur dalam menangani administrasi perusahaan.
6. Manajer Teknik
- Manajer Teknik bertanggung jawab langsung kepada Direktur dengan tugas mengkoordinir segala kegiatan terkait masalah teknik baik dilapangan maupun dikantor dengan dibantu oleh Kepala Teknik.

7. Manajer Produksi

Manajer Produksi bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama dengan tugas mengkoordinir segala kegiatan terkait masalah proses baik dibagian produksi maupun utilitas dengan dibantu oleh Kepala Produksi.

8. Manajer Pemasaran

Manajer Pemasaran bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama dengan tugas mengkoordinir segala kegiatan terkait masalah pemasaran dengan dibantu oleh Kepala Pemasaran.

9. Manajer Keuangan

Manajer Keuangan bertanggung jawab langsung kepada Direktur dalam mengawasi dan mengatur keuangan dengan dibantu oleh Kepala Keuangan.

10. Manajer Personalia

Manajer Personalia bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama dalam mengawasi dan mengatur karyawan dengan dibantu oleh Kepala Personalia.

11. Manajer Riset dan Pengembangan

Manajer Riset dan Pengembangan bertanggung jawab kepada Direktur Utama dalam hal pelaksanaan riset dan penelitian perusahaan serta rencana pengembangan perusahaan dengan dibantu oleh Kepala Riset dan Pengembangan.

12. Kepala Bagian Teknik

Tugas dan wewenang Kepala Bagian Teknik sebagai berikut:

- a. Memimpin bagian teknik dan bertanggung jawab langsung kepada Manajer Teknik.

- b. Menyusun program perawatan dan pemeliharaan peralatan produksi dengan dibantu oleh empat Kepala Seksi, yaitu seksi mesin, seksi listrik, seksi instrumentasi, serta seksi pemeliharaan pabrik.

13. Kepala Bagian Produksi

Kepala Bagian Produksi bertanggung jawab kepada Manajer Produksi dengan tugas mengkoordinir dan mengawasi semua kegiatan produksi meliputi proses dan utilitas.

14. Kepala Bagian Pemasaran

Kepala Bagian Pemasaran bertanggung jawab kepada Manajer Pemasaran dengan tugas mengkoordinir segala kegiatan penjualan dan promosi. Dalam melaksanakan tugasnya, Kepala Bagian Pemasaran dibantu oleh dua Kepala Seksi, yaitu seksi promosi dan seksi penjualan.

15. Kepala Bagian Keuangan dan Administrasi

Kepala Bagian Keuangan dan Administrasi bertanggung jawab kepada Manajer Keuangan dan Administrasi dengan tugas dan bertanggung jawab dalam administrasi dari semua kegiatan operasional pabrik serta pembukuan dan pengaturan gaji pegawai. Dalam melaksanakan tugasnya Kepala Bagian Keuangan dan Administrasi dibantu oleh dua Kepala Seksi, yaitu seksi akuntansi dan seksi administrasi.

16. Kepala Bagian Personalia Kepala

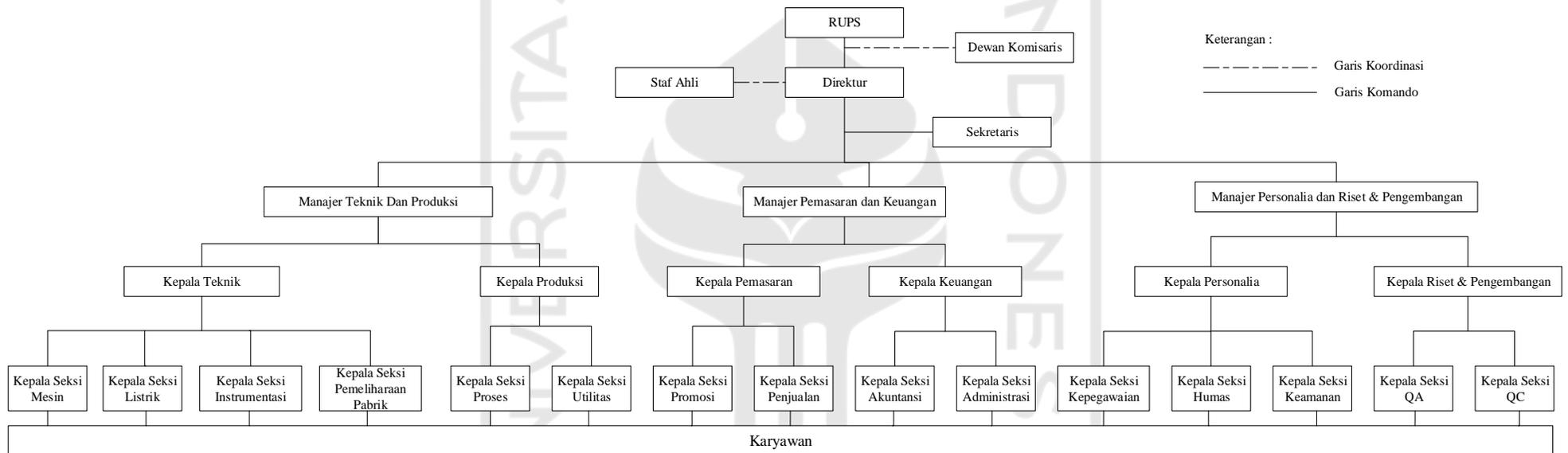
Kepala Bagian Personalia bertanggung jawab kepada Manajer Personalia dengan tugas mengkoordinir kegiatan pabrik yang bersifat umum, seperti perawatan kesehatan, transportasi, kebersihan, dan sarana pelayanan lainnya, serta

menangani urusan pegawai. Dalam melaksanakan tugasnya Kepala Bagian Personalia dibantu oleh empat Kepala Seksi, yaitu Seksi kepegawaian, seksi humas, seksi kesehatan dan seksi keamanan.

17. Kepala Bagian Riset dan Pengembangan

Kepala Riset dan Pengembangan bertugas membantu Manajer Riset dan Pengembangan dalam hal pengawasan segala kegiatan perusahaan yang berhubungan dengan penelitian dan perencanaan pengembangan perusahaan berdasarkan data yang diperoleh dari riset serta kualitas dari produk yang dipasarkan. Kepala Bagian ini bertanggung jawab kepada Manajer Riset dan Pengembangan dengan dibantu oleh dua orang Kepala Seksi, yaitu seksi *quality assurance*, dan seksi *quality control*.

STRUKTUR ORGANISASI PERUSAHAAN



Gambar 4. 4 Bagan struktur organisasi perusahaan pabrik biohidrogen

4.4.4. Pengaturan Jam Kerja

Pabrik pembuatan Biohidrogen ini direncanakan beroperasi selama 350 hari per tahun secara kontinu dalam 24 jam sehari. Menurut pengaturan jam kerja, karyawan dapat digolongkan menjadi dua golongan, yaitu:

1. Karyawan non-shift, yaitu karyawan yang tidak langsung berhubungan dengan proses produksi, seperti bagian administrasi, gudang, dan lain-lain. Jam kerja karyawan non-shift ditetapkan 38 jam per minggu dan jam kerja selebihnya dianggap lembur. Perincian jam kerja non-shift sebagai berikut :

Jam Kerja :

- Hari Senin – Kamis : pukul 08.00 – 16.00

Jam Istirahat :

- Hari Senin – Kamis : pukul 12.00 – 13.00
- Hari Jumat : pukul 11.00 – 13.00

kerja

2. Karyawan shift, yaitu karyawan dimana berhubungan secara langsung dengan proses produksi yang memerlukan pengawasan intens selama 24 jam, seperti bagian produksi, utilitas, kamar listrik (genset), keamanan, dan lain-lain. Karyawan shift akan bekerja secara bergantian sehari semalam dengan perincian jam kerja sebagai berikut :

- Shift Pagi : pukul 07.00 – 15.00
- Shift Sore : pukul 15.00 – 23.00

➤ Shift Malam : pukul 23.00 – 07.00

Pada hari Minggu dan hari libur lainnya, karyawan shift tetap bekerja seperti biasa dan diberikan libur selama satu hari setiap tiga hari kerja. Untuk itu karyawan shift dibagi dalam 4 regu dengan pengaturan sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Pembagian tenaga kerja shift tiap regu

Regu	Hari													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	III	III	III	-	I	I	I	-	II	II	II	-	III	III
B	I	-	II	II	II	-	III	III	III	-	I	I	I	-
C	-	I	I	I	-	II	II	II	-	III	III	III	-	I
D	II	II	-	III	III	III	-	I	I	I	-	II	II	II

4.4.5. Perincian Tenaga Kerja

Dalam melaksanakan kegiatan perusahaan, pabrik yang didirikan membutuhkan susunan tenaga kerja seperti pada struktur organisasi. Adapun jumlah tenaga kerja, tingkat pendidikan yang disyaratkan beserta besarnya gaji pegawai dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4 berikut ini.

Tabel 4. 3 Jumlah dan jenjang pendidikan tenaga kerja

Jabatan	Jumlah	Pendidikan
Dewan Komisaris	3	Teknik Kimia/ Industri (S2)
Direktur	1	Teknik Kimia (S2)
Staff Ahli	3	Teknik Kimia/ Mesin/ Industri (S1)
Sekretaris	2	Sekretaris (D3)
Manajer Teknik dan Produksi	1	Teknik Kimia (S1)
Manajer Pemasaran dan Keuangan	1	Akuntansi / Manajemen (S1)
Manajer Personalia dan R & D	1	Hukum (S1)

Tabel 4. 4 Jumlah dan jenjang pendidikan tenaga kerja (Lanjutan)

Kepala Bagian Teknik	1	Teknik Mesin/ Elektro/ Kimia (S1)
Kepala Bagian Produksi	1	Teknik Kimia (S1)
Kepala Bagian Personalia	1	Hukum (S1)
Kepala Bagian Keuangan & Administrasi	1	Ekonomi (S1)
Kepala Bagian Pemasaran	1	Manajemen (S1)
Kepala Bagian Riset dan Pengembangan	1	Teknik Kimia/Industri (S1)
Kepala Seksi	15	Teknik Kimia/Ekonomi (S1)
Karyawan Produksi	42	STM/SMU/Politeknik
Karyawan Teknik	8	STM/SMU/Politeknik
Karyawan Personalia	4	SMEA/Politeknik
Karyawan Keuangan dan Administrasi	5	SMEA/Politeknik
Karyawan Pemasaran	5	SMEA/Politeknik
Karyawan Riset dan Pengembangan	6	STM/Politeknik
Petugas Keamanan	5	SMU/Pensiunan TNI/POLRI
Petugas Kebersihan	6	SMU/SLTP
Supir	4	SMU/STM
Dokter	2	Pendidikan Dokter (S1)
Perawat	3	Sarjana/Diploma Keperawatan (S1)
Analisis Laboratorium	4	Sarjana/Diploma/SMK Kimia
Jumlah	127	

Tabel 4. 5 Daftar gaji karyawan sesuai jabatan

Jabatan	Gaji/bulan (Rp)
Dewan Komisaris	33.000.000
Direktur	28.000.000
Staff Ahli	15.000.000
Sekretaris	7.000.000
Manajer	12.000.000

Tabel 4. 4 Daftar gaji karyawan sesuai jabatan (Lanjutan)

Kepala Bagian	8.500.000
Kepala Seksi	7.500.000
Karyawan	6.500.000
Petugas Keamanan	3.774.861
Petugas Kebersihan	3.774.861
Supir	4.035.196
Dokter	4.500.000
Perawat	4.500.000
Analisis Laboratorium	4.500.000

4.4.6. Fasilitas dan Hak Karyawan

Untuk dapat menunjang aktivitas kerja karyawan suatu perusahaan dapat memberikan fasilitas serta hak kepada karyawannya antara lain:

1. Tunjangan

- a. Tunjangan berupa gaji pokok yang diberikan berdasarkan golongan karyawan yang bersangkutan
- b. Tunjangan jabatan yang diberikan berdasarkan jabatan yang dipegang karyawan
- c. Tunjangan lembur yang diberikan kepada karyawan yang bekerja diluar jam kerja berdasarkan jumlah jam kerja

2. Cuti

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

3. Pakaian kerja

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

4. Pengobatan

- a. Biaya pengobatan bagi karyawan yang menderita sakit yang diakibatkan oleh kerja, ditanggung oleh perusahaan sesuai dengan undang-undang
- b. Biaya pengobatan bagi karyawan yang menderita sakit tidak disebabkan oleh kecelakaan kerja, diatur berdasarkan kebijaksanaan perusahaan.

5. Hari libur nasional

Bagi karyawan harian (non-shift), hari libur nasional tidak masuk kerja. Sedangkan bagi karyawan shift, hari libur nasional tetap masuk kerja dengan catatan hari itu diperhitungkan sebagai kerja lembur.

6. Kerja lembur (*Overtime*)

Kerja lembur dapat dilakukan apabila ada keperluan yang mendesak dan atas persetujuan kepala bagian.

7. Asuransi Tenaga Kerja (ASTEK)

ASTEK diberikan oleh perusahaan bila jumlah karyawannya lebih dari 10 orang atau dengan gaji karyawan Rp. 1.000.000,00 perbulan.

8. Penyediaan fasilitas bagi karyawan

- a. Penyediaan sarana transportasi / bus karyawan

- b. Penyediaan fasilitas tempat ibadah yang dilengkapi dengan sarana air dan listrik
- c. Beasiswa kepada anak-anak karyawan yang berprestasi
- d. Memberikan tanda penghargaan dalam bentuk tanda mata kepada pekerja yang mencapai masa kerja berturut-turut 10 tahun
- e. Penyediaan fasilitas perumahan yang dilengkapi dengan sarana air dan listrik



BAB V

UTILITAS

5.1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

5.1.1. Unit Penyediaan Air

Dalam perancangan pabrik biohidrogen, sebagian besar sumber air dipenuhi dari hasil pengolahan limbah air domestik dari proses utama pabrik yang dilanjutkan dengan pengolahan terakhir di unit pengolahan air untuk menghilangkan senyawa organik agar dapat memenuhi standar baku mutu. Kekurangan sumber air dipenuhi dengan membeli air bersih dari Perumda Air Minum Tirta Raharja.

Tabel 5. 1 Kebutuhan air pabrik biohidrogen

Kebutuhan	Jumlah (kg/jam)
Air domestik	908,3
Air servis	235
Air pendingin	909
Total	2052,4

Banyaknya air yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah domestik adalah 1652,35 kg/jam, yang artinya sebanyak 400 kg/jam air dibeli dari Perumda. Namun, pada masa *start up* pabrik kebutuhan air di utilitas seluruhnya dipenuhi dari Perumda (2052,4 kg/jam) dikarenakan pabrik yang belum menghasilkan air olahan. Setelah pabrik berjalan secara *steady*, maka hanya perlu membeli air sebanyak 400 kg/jam saja.

Pertimbangan dalam memilih untuk membeli air bersih daripada mengambil dan mengolah air dari sumber air dikarenakan jumlah air yang diperlukan tergolong sedikit sehingga pengolahan air yang membutuhkan berbagai rancangan alat baru dinilai tidak layak secara ekonomi. Karakteristik air yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah air domestik adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 2 Kualitas air olahan dan standar baku mutu air domestik – sanitasi

Parameter	Kualitas Air Olahan Pabrik Biohidrogen	Standar Baku Mutu (mg/L)
BOD	25,15 mg/L	30
COD	32,18 mg/L	100
N	4,54 mg/L	5
SS	14 mg/L	30
Fe	0,05 mg/L	1
Cl ₂	5 mg/L	5
pH	7,27 (S K. Z., 2008)	6,5 – 8,5
Rasa	Tidak berasa	Tidak berasa
Bau	Tidak berbau	Tidak berbau
Suhu	25 – 28,49°C	Suhu normal ± 3°C

Kualitas air olahan dinilai sudah sesuai dengan standar baku mutu sehingga air olahan proses utama dapat digunakan sebagai supply kebutuhan air. Kebutuhan air dalam pabrik biohidrogen digunakan untuk beberapa keperluan seperti:

1. Air Pendingin

Air pendingin merupakan air yang digunakan sebagai pendingin untuk alat penukar panas seperti *heat exchanger* dengan tujuan agar panas dari fluida

berpindah ke air. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam karakteristik air yang digunakan sebagai pendingin adalah:

- a. Kesadahan air. Kandungan garam-garam kalsium dan magnesium menjadikan air bersifat sadah serta dapat menimbulkan kerak (CaCO_3 , CaSO_4) pada sistem perpipaan.
- b. Komponen penyebab korosi dan penurunan efisiensi alat penukar panas seperti senyawa asam kuat dan amoniak cair.

Tabel 5. 3 Kebutuhan air pendingin

Nama Alat	Kode	Jumlah (kg/jam)
<i>Cooler 01</i>	CL-01	76,01
<i>Cooler 02</i>	CL-02	119,44
Cadangan		20%
Total		237

Karena minimya kebutuhan air pendingin, maka air pendingin yang sudah digunakan akan dibuang ke lingkungan dan kebutuhannya akan di *supply* kembali dari air olahan. Penggunaan ulang air pendingin menggunakan *cooling tower* dinilai tidak layak secara ekonomi (faktor sedikitnya air yang diolah) sehingga biaya untuk mengolah air olahan limbah domestik dinilai lebih terjangkau daripada menyediakan *cooling tower* dengan ukuran besar untuk pengolahan yang sedikit.

2. Air Domestik

Air domestik adalah air yang dibutuhkan untuk sarana dalam pemenuhan kebutuhan pegawai seperti untuk mandi, cuci, kakus (MCK) dan untuk kebutuhan kantor lainnya, serta kebutuhan rumah tangga. Karakteristik air yang digunakan

sebagai air domestik harus memenuhi kriteria dasar seperti jernihnya air, pH netral, tidak mengandung zat kimia berbahaya, tingkat kesadahan rendah serta tidak mengandung bakteri berbahaya. Kriteria ini dapat dengan mudah dicapai setelah melalui proses pengolahan air hingga desinfeksi dengan klorinasi.

a. Kebutuhan air karyawan

Penggunaan air per orang dalam sehari berkisar 100 – 200 L/hari berdasarkan standar dari WHO. Jumlah karyawan yang dimiliki sebanyak 127 orang dan perkiraan kebutuhan air per orangnya sebesar 100 L/hari.

b. Kebutuhan air rumah karyawan

Pabrik merencanakan mendirikan mess sebanyak 15 rumah dengan perkiraan tiap mess dihuni oleh 3 orang. Perkiraan kebutuhan air untuk tiap orang per harinya sebanyak 200 kg/hari.

Tabel 5. 4 Kebutuhan air domestik

Jenis Penggunaan	Jumlah (kg/hari)
Karyawan	533,3
Area Mess	600
Total	908,3

3. Air Servis

Air untuk keperluan sanitasi adalah air dengan kualitas tertentu yang juga dapat digunakan sebagai air baku air minum (Permenkes, 2017). Pada pabrik biohidrogen ini, air sanitasi diperlukan untuk pencucian atau pembersihan peralatan pabrik, utilitas, laboratorium, dan lainnya.

Tabel 5. 5 Kebutuhan air servis

Jenis Penggunaan	Jumlah (kg/jam)
Bengkel	50
Poliklinik	50
Laboratorium	45,8
Pemadam kebakaran	166,7
Kantin	166,7
Musholla	
Kebun	
Cadangan	208,3
Total	687,5

5.1.2. Unit Pengolahan Air

1. Netralisasi asam

Air olahan keluaran bak klorinasi di proses utama masih mengandung senyawa asam seperti CH_3COOH , $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$, $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$, $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$ yang tidak memenuhi standar baku mutu air domestik dan sanitasi sehingga air tersebut diolah kembali untuk menghilangkan kadar asam. Proses ini bekerja dengan memungkinkan air limbah mengalami reaksi kimia dengan media netralisasi. Derajat netralisasi dapat diukur dengan sistem pH (konsentrasi ion hidrogen). Proses netralisasi pasif terjadi ketika air limbah yang mengandung senyawa asam bersentuhan dengan media batu gamping, dimana Kalsium Karbonat (CaCO_3) merupakan penyusun

utamanya. Reaksi berikut merupakan contoh salah satu proses netralisasi asam asetat oleh batu kapur:



Tabel 5. 6 Spesifikasi alat netralisasi asam

Nama alat	Tangki netralisasi asam
Kode	NT-01
Kapasitas (L)	1000
Bahan konstruksi	<i>Stainless steel</i>
Spesifikasi	
a. Panjang (m)	1,14
b. Lebar (m)	1,14
c. Tinggi (m)	1,3
Jumlah	2 unit
Harga (Rp)	97.590.535

2. Penyimpanan dan distribusi air

Air bersih keluaran tangki netralisasi dialirkan ke masing-masing tangki air domestik, air pendingin dan air servis melalui pompa. Sedangkan air yang dibeli dari Perumda dialirkan dan disimpan dalam tangki air servis.

Tabel 5. 7 Spesifikasi pompa utilitas

Nama	Pompa-01	Pompa-02	Pompa-03	Pompa-04
Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
Fungsi	Mengalirkan air dari Bak Klorinasi (BK-01) menuju Tangki Neutralizer (NT-01)	Mengalirkan air dari Tangki <i>Neutralizer</i> menuju tangki air servis (TU-01)	Mengalirkan air dari Tangki <i>Neutralizer</i> menuju tangki ar domestik (TU-02)	Mengalirkan air dari Tangki <i>Neutralizer</i> menuju tangki air pendingin (TU-03)
Jenis	Centrifugal pump	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>
Viskositas (cP)	0,84	0,82	0,82	0,84
Kapasitas (m ³ /jam)	1,61	0,67	0,88	0,23
Diameter (mm)	26,64	20,93	20,93	12,52
<i>Pump Head</i> (m)	0,38	1,96	2,27	0,3
Suhu Fluida (°C)	28,49	28,49	28,49	28,49
Instalasi	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
<i>Submersibility</i>	Dry	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>	<i>Dry</i>
Daya Motor (Watt)	37,28	37,28	37,28	37,28
Bahan	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>
Jumlah	2	2	2	2
Harga (Rp)	217.722.461	188.692.800	188.692.800	137.890.892

Tabel 5. 7 Spesifikasi alat utilitas (Lanjutan)

Nama	Pompa-05	Pompa-06	Pompa-07
Kode	PU-05	PU-06	PU-07
Fungsi	Mengalirkan air dari tangki air servis (TU-01) menuju area kebutuhan servis	Mengalirkan air dari tangki air domestik (TU-02) menuju area kebutuhan domestik	Mengalirkan air dari tangki air pendingin (TU-03) menuju cooler (CL-01) dan (CL-02)
Jenis	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>	<i>Centrifugal pump</i>
Viskositas (cP)	0,82	0,84	0,84
Kapasitas (m ³ /jam)	0,89	0,88	0,23
Diameter (mm)	20,93	20,93	12,52
<i>Pump Head</i> (m)	2,78	3,1	0,7
Suhu Fluida (°C)	28,49	28,49	28,49
Instalasi	Horizontal	Horizontal	Horizontal
<i>Submersibility</i>	Dry	Dry	Dry
Daya Motor (Watt)	37,28	37,28	37,28
Bahan	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>	<i>Stainless Steel 304</i>
Jumlah	2	2	2
Harga (Rp)	188.692.800	188.692.800	137.890.892

Tabel 5. 8 Spesifikasi tangki utilitas

Tangki		TU-01	TU-02	TU-03
Fungsi peruntukan alat		Untuk menyimpan air bersih keperluan servis	Untuk menyimpan air bersih keperluan domestik	Untuk menyimpan air bersih keperluan <i>cooler</i>
Fasa		Cair	Cair	Cair
Jumlah tangki		1	1	1
Jenis tangki		Silinder vertikal	Silinder vertikal	Silinder vertikal
Kondisi operasi	Suhu (°C) :	28,49	28,49	28,49
	Tekanan (atm) :	1	1	1
Spesifikasi	Bahan konstruksi :	<i>Polyethylene</i>	<i>Polyethylene</i>	<i>Polyethylene</i>
	Volume tangki (m ³) :	26,2	26,24	6,84
	Diameter (m) :	3,22	3,22	2,06
	Tinggi (m) :	3,22	3,22	2,06
<i>Head & Bottom</i>	Jenis <i>head</i> :	<i>Conical head</i>	<i>Conical head</i>	<i>Conical head</i>
	Jenis <i>bottom</i> :	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>
Harga (Rp)		91.502.662	91.628.377	15.058.640

5.2. Unit Penyedia Udara Tekan

Udara tekan diperlukan untuk penggunaan alat kontrol berjenis kontrol pneumatik. Kebutuhan udara tekan untuk setiap alat kontrol sekitar 1 ft³/menit dengan jumlah alat kontrol pada pabrik sebanyak 17 buah, sehingga dihasilkan udara menggunakan *reciprocating compressor* dengan tekanan sebesar 6 bar. Sebelum dialirkan ke alat kontrol, udara tekan akan diserap terlebih dahulu kandungan air didalamnya dengan media *silica gel* dan ditampung dalam tangki penyimpanan.

Tabel 5. 9 Spesifikasi kompresor

Nama	Kompresor 3
Kode	C-03
Fungsi	Mengalirkan udara menuju alat kontrol pneumatik
Jenis	<i>Single stage reciprocating compressor</i>
Material	<i>Carbon steel</i>
Kapasitas / Kebutuhan Udara (m ³ /jam)	31,77
Daya Motor (Watt)	2164,83
Jumlah	1
Harga (Rp)	63.502.384

5.3. Unit Penyedia Listrik

Dalam berkegiatan di dalam suatu pabrik listrik menjadi salah satu faktor yang sangat penting untuk menunjang kelancaran proses. Oleh karena itu diperlukan unit penyedia listrik yang dapat mencukupi semua kebutuhan listrik di lingkungan pabrik baik pada bagian alat proses maupun fasilitas sarana dan prasarana pabrik. Berikut ini adalah rincian kebutuhan listrik pada alat proses.

Tabel 5. 10 Kebutuhan listrik peralatan proses

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
Reaktor	R-01	66.960,78	49.932.720
Kompresor 1	C-01	500,00	372.850,00
Kompresor 2	C-02	1.750,00	1.304.975,00
Blower 1	BL-01	61,94	46.186,99
Blower 2	BL-02	2,80	2.085,07
Pompa 1	P-01	0,33	248,57
Pompa 2	P-02	0,17	124,28
Pompa 3	P-03	0,17	124,28
Pompa 4	P-04	1,00	745,70
Pompa 5	P-05	0,05	37,29
Pompa 6	P-06	0,05	37,29
Pompa 7	P-07	0,05	37,29
TOTAL		69.277,32	51.660.171,76

Tabel 5. 11 Kebutuhan listrik peralatan utilitas

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
Pompa Utilitas 1	PU-01	0,05	37,29
Pompa Utilitas 2	PU-02	0,05	37,29
Pompa Utilitas 3	PU-03	0,05	37,29
Pompa Utilitas 4	PU-04	0,05	37,29
Pompa Utilitas 5	PU-05	0,05	37,29
Pompa Utilitas 6	PU-06	0,05	37,29
Pompa Utilitas 7	PU-07	0,05	37,29
<i>Acid neutralization tank</i>	CU-01	4,02	3000
Kompresor 3	CU-02	2,90	2164,83
Blower 1	CU-03	55,06	41055,1
Blower 2	FU-01	3,36	2502,09
TOTAL		65,69	48983,02

Total daya listrik yang dibutuhkan untuk menjalankan peralatan proses yang terdapat di pabrik sebesar 51709,15 kW. Selain peralatan proses dan utilitas dibutuhkan pasokan listrik untuk penerangan, AC, laboratorium dan bengkel serta instrumentasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5. 12 Total kebutuhan listrik pabrik Biohidrogen

No	Keperluan	Kebutuhan (kW)
1	Kebutuhan Plant	
	a. Alat Proses	51.660,17
	b. Utilitas	48,98
2	a. Listrik Ac	20
	b. Listrik Penerangan	300
3	Laboratorium dan Bengkel	25
4	Instrumentasi	30
TOTAL		52,084.1548

Pemenuhan energi listrik menggunakan generator AC dengan tegangan 220/360 dan kapasitas sebesar 65.500 kW.

5.4. Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit penyedia bahan bakar diperlukan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada generator sebagai penghasil listrik. Digunakan sumber bahan bakar berupa solar dengan karakteristik sebagai berikut :

Heating value	: 45.598,90 kJ/kg
Densitas solar	: 850 kg/m ³
Efisiensi bahan bakar	: 80%

Kebutuhan bahan bakar solar yang digunakan untuk generator sebesar 6.463,97 kg/jam. Pemilihan bahan bakar solar dikarenakan konsumsi listrik yang lebih sedikit, lebih tahan panas, menghasilkan jumlah energi yang lebih banyak karena kepadatan energi tinggi, dan harganya lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan bakar bensin.

5.5. Unit Pengolahan Limbah

Proses pengolahan air limbah domestik sebagai bahan baku pembuatan Biohidrogen menghasilkan limbah buangan fase padat dan cair pada beberapa alat proses yang digunakan. Seperti pada alat *screen chamber* dihasilkan limbah material padat berukuran besar seperti kayu, metal, kain, kertas, plastik, dan benda padat lain yang biasanya terkandung di dalam air limbah. Pada alat *grit chamber* dihasilkan limbah padat berupa *grit*/pasir dan pada *settling tank* dihasilkan limbah berupa *sludge*. Limbah cair yang mengandung material organik dihasilkan pada

tangki aerasi. Limbah-limbah dari alat proses, tersebut kemudian dialirkan ke Unit Pengolahan Limbah untuk dikelola lebih lanjut contohnya pada limbah padat yang nantinya akan dikirim ke Tempat Pembuangan Akhir Babakan, Bandung.



BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Pada pendirian suatu pabrik perlu dilakukan evaluasi atau penilaian untuk menentukan kelayakan pabrik yang akan dirancang dimana dengan menerapkan analisa perhitungan secara teknik. Dengan melakukan evaluasi ekonomi maka dapat diketahui apakah pabrik yang didirikan dapat memberikan keuntungan secara komersial atau tidak sehingga memberikan pandangan terkait pendirian pabrik yang dapat dipertimbangkan lebih lanjut. Selain itu, dengan evaluasi ekonomi dapat ditentukan estimasi tentang kelayakan investasi modal dalam kegiatan produksi suatu pabrik, meninjau kebutuhan modal investasi, besarnya laba yang diperoleh, lamanya modal investasi dapat dikembalikan dan besarnya nilai titik impas. Berikut beberapa faktor yang dapat ditinjau dalam melakukan evaluasi ekonomi menurut Aries dan Newton (1995):

1. Modal, yang terdiri dari:
 - a. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)
 - b. Modal Kerja (*Working Capital Investment*)
2. Biaya Produksi, yang terdiri dari :
 - a. *Manufacturing Cost* (MC), terdiri dari
 - i) Biaya Produksi Langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
 - ii) Biaya Produksi Tak Langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)

iii) Biaya produksi Tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)

b. *General Expense*

3. Analisa Keuntungan

4. Analisa Kelayakan, yang terdiri dari :

a. *Percent Return on Investment (ROI)*

b. *Pay Out Time (POT)*

c. *Break Event Point (BEP)*

d. *Shut Down Point (SDP)*

e. *Discounted Cash Flow Rate (DCFR)*

6.1 Penentuan Harga Alat

Setiap tahunnya harga peralatan proses akan selalu mengalami perubahan akibat pengaruh kondisi ekonomi pada tahun tersebut. Harga peralatan di tahun tertentu dapat diketahui dengan penaksiran harga alat tahun lalu yang didasarkan pada indeks harga. Berikut adalah tabel indeks harga alat dari tahun 1991 hingga 2019 berdasarkan sumber dari *Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)*:

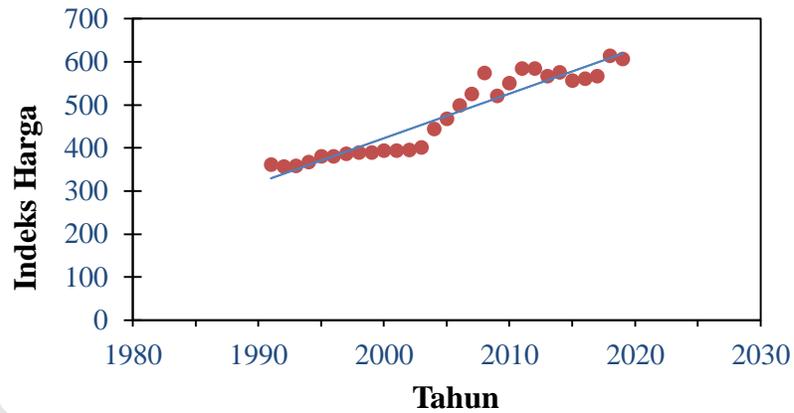
Tabel 6. 1 Indeks harga

No	(Xi)	Indeks (Yi)
1	1991	361,3
2	1992	358,2
3	1993	359,2
4	1994	368,1
5	1995	381,1
6	1996	381,7

Tabel 6. 1 Indeks harga (Lanjutan)

7	1997	386,5
8	1998	389,5
9	1999	390,6
10	2000	394,1
11	2001	394,3
12	2002	395,6
13	2003	402,0
14	2004	444,2
15	2005	468,2
16	2006	499,6
17	2007	525,4
18	2008	575,4
19	2009	521,9
20	2010	550,8
21	2011	585,7
22	2012	584,6
23	2013	567,3
24	2014	576,1
25	2015	556,8
26	2016	561,7
27	2017	567,5
28	2018	614,6
29	2019	607,5

Pabrik biohidrogen akan dibangun pada tahun 2026 sehingga perlu dicari indeks harga alat pada tahun tersebut. Untuk menentukan besarnya harga alat pada tahun 2026 dapat digunakan menggunakan metode regresi linear dengan memplotkan nilai X_i dan Y_i sehingga didapatkan persamaan regresi $y = 10,362 x - 20.300$. Dari persamaan regresi tersebut maka didapatkan nilai indeks harga pada tahun 2026 sebesar 693,412. Grafik hasil plotting data dapat dilihat pada Gambar 6.1 berikut.



Gambar 6. 1 Grafik hubungan tahun terhadap index CEPCI

Harga alat dan lainnya dihitung pada tahun evaluasi yaitu tahun 2026 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_x = \frac{N_x}{N_y} \times E_y \quad (6.1)$$

Dimana :

E_x = Harga tahun pembelian

E_y = Harga tahun referensi

N_x = Indeks harga pada tahun pembelian

N_y = Indeks harga pada tahun referensi

Tabel 6. 2 Harga alat proses

No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	CY (\$)	CX (\$)
				2014	2026	2014	2026
1	<i>Cooler 1</i>	CL-01	1	576,10	693,41	1.700,00	2.046,17
2	<i>Cooler 2</i>	CL-02	1	576,10	693,41	1.800,00	2.166,54
3	Kompresor 1	C-01	1	576,10	693,41	159.000,00	191.377,38
4	Kompresor 2	C-02	1	576,10	693,41	1.265.000,00	1.522.593,61
5	Pompa 1	P-01	1	576,10	693,41	9.400,00	11.314,13
6	Pompa 2	P-02	1	576,10	693,41	7.700,00	9.267,96
7	Pompa 3	P-03	1	576,10	693,41	11.600,00	13.962,12
8	Pompa 4	P-04	1	576,10	693,41	13.600,00	16.369,39
9	Pompa 5	P-06	1	576,10	693,41	1.600,00	1.925,81
10	Pompa 6	P-07	1	576,10	693,41	1.600,00	1.925,81
11	Pompa 7	P-08	1	576,10	693,41	1.600,00	1.925,81
TOTAL							4.212,71
No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	CY (\$)	CX (\$)
				2022	2026	2022	2026
1	Adsorber	AD-01	2	651,96	693,41	38.662,34	82.240,53
2	<i>Screen Chamber</i>	SC-01	1	651,96	693,41	24.043,52	25.572,06
3	Tangki H ₂	TK-02	1	651,96	693,41	3.043.557,12	3.237.048,41
4	Bak Klorinasi	BK-01	1	651,96	693,41	457,75	486,85
5	Reaktor	R-01	4	651,96	693,41	156.580,80	666.141,11
6	Separator	SP-01	1	651,96	693,41	12.206,71	12.982,74
7	<i>Aeration Tank</i>	AT-01	1	651,96	693,41	10.353,28	11.011,48
8	<i>Grit Chamber</i>	GC-01	1	651,96	693,41	3.302,41	3.512,36
9	<i>Settling Tank</i>	ST-01	1	651,96	693,41	26.848,81	28.555,70
10	Sumur Pengumpul	TK-01	1	651,96	693,41	809,77	861,25
TOTAL							4.071.962,88

Tabel 6. 3 Harga alat utilitas

No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	CY (\$)	CX (\$)
				2014	2026	2014	2026
1	<i>Blower 1</i>	BL-01	1	576,10	693,41	3.900,00	4.694,16
2	<i>Blower 2</i>	BL-02	1	576,10	693,41	600,00	722,18
3	Kompresor 3	C-03	1	576,10	693,41	3.500,00	4.212,71
4	Pompa Utilitas 1	PU-01	2	576,10	693,41	6.000,00	14.443,58
5	Pompa Utilitas 2	PU-02	2	576,10	693,41	5.200,00	12.517,77
6	Pompa Utilitas 3	PU-03	2	576,10	693,41	5.200,00	12.517,77
7	Pompa Utilitas 4	PU-04	2	576,10	693,41	3.800,00	9.147,60
8	Pompa Utilitas 5	PU-05	2	576,10	693,41	5.200,00	12.517,77
9	Pompa Utilitas 6	PU-06	2	576,10	693,41	5.200,00	12.517,77
10	Pompa Utilitas 7	PU-07	2	576,10	693,41	3.800,00	9.147,60
TOTAL							82.809,83
No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	CY (\$)	CX (\$)
				2022	2026	2022	2026
1	<i>Diffuser</i>	DU-01	19	651,96	693,41	375,07	7.579,39
2	<i>Acid Neutralization Tank</i>	NT-01	2	651,96	693,41	3.043,56	6.474,10
3	Tangki Air Domestik	TU-02	1	651,96	693,41	5.715,23	6.078,57
4	Tangki Air Servis	TU-01	1	651,96	693,41	5.707,39	6.070,23
5	Bak Air Pendingin	TU-03	1	651,96	693,41	939,27	998,98
TOTAL							194.846,94

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas produksi Biohidrogen	:	5000 ton/tahun
Satu tahun operasi	:	330 hari
Umur pabrik	:	10 tahun
Pabrik didirikan tahun	:	2026
Kurs mata uang	:	1 US\$ = Rp 15.074,00 (Juli 2022)
Harga bahan baku		
➤ Kaporit	:	Rp 3.507.934,04/tahun
➤ Aluminium	:	Rp 20.203.203.658,58/tahun
Harga jual produk		
➤ Hidrogen	:	Rp 379.363.550.000/tahun

6.3 Perhitungan Biaya

6.3.1. *Capital Investment*

Capital investment adalah sejumlah uang yang harus dikeluarkan untuk mendirikan dan mengoperasikan pabrik sehingga menghasilkan produk dari suatu bahan baku. *Capital investment* dibagi menjadi dua macam yaitu :

- Fixed Capital Investment*, yaitu uang yang dikeluarkan untuk mendirikan pabrik yang terdiri dari: *manufacturing* dan *non manufacturing*.
- Working Capital* adalah uang yang dikeluarkan untuk menjalankan kegiatan operasi pabrik agar menghasilkan suatu produk.

6.3.2. *Manufacturing Cost*

Manufacturing cost adalah biaya yang harus dikeluarkan untuk mengolah bahan baku menjadi bahan jadi. Menurut Aries dan Newton *manufacturing cost* terdiri dari *direct cost*, *indirect cost*, dan *fixed cost*.

- a. *Direct cost*, yaitu pengeluaran yang berkaitan langsung dengan pembuatan produk seperti material, upah buruh, dan biaya peralatan.
- b. *Indirect cost*, yaitu pengeluaran-pengeluaran sebagai akibat tidak langsung karena operasi pabrik. Umumnya, biaya tidak langsung mencakup listrik dan utilitas, distribusi dan penjualan, pemeliharaan gedung, dan biaya lainnya yang berkaitan dengan kantor. Hal tersebut membuat biaya tidak langsung dianggap sebagai biaya bisnis.
- c. *Fixed cost*, yaitu biaya tertentu yang selalu dikeluarkan baik pada saat pabrik beroperasi maupun tidak atau pengeluaran yang bersifat tetap tidak tergantung waktu dan tingkat produksi.

6.3.3. *General Expense*

General expenses adalah biaya yang harus dikeluarkan tidak berhubungan langsung dengan pengolahan bahan baku menjadi bahan jadi, yang terdiri dari pengeluaran *administration cost*, *sales expense*, *research* and *finance*.

- a. *Administration cost*, yaitu biaya yang diperlukan untuk menjalankan administrasi perusahaan.
- b. *Sales expense*, yaitu biaya administrasi yang diperlukan dalam penjualan produk, termasuk didalamnya biaya promosi apabila produk tergolong baru.

- c. *Research*, yaitu biaya yang dikeluarkan yang berhubungan dengan pengembangan produk maupun advertensi.
- d. *Finance*, yaitu biaya yang berkaitan dengan hutang piutang dan bunga bank.

6.4 Analisa Kelayakan

Kelayakan suatu pabrik untuk dapat berdiri dapat dilihat dari kemampuan perusahaan untuk menghasilkan laba/profitabilitas. Pabrik akan memiliki prospek rencana pembangunan yang baik jika nilai profitabilitasnya tinggi. Untuk menganalisa apakah pabrik tersebut potensial untuk didirikan atau tidak maka dilakukan analisis atau evaluasi kelayakan dengan mempertimbangkan beberapa parameter berikut :

1. *Percent Return on Investment (ROI)*

Percent Return On Investment merupakan perkiraan laju keuntungan tiap tahun yang dapat mengembalikan modal yang diinvestasi.

$$ROI = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\% \quad (6.2)$$

2. *Pay Out Time (POT)*

Pay out time adalah jumlah tahun yang diperlukan untuk mengembalikan *Fixed Capital Investment* berdasarkan keuntungan yang diperoleh.

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{\text{Keuntungan Tahunan} + (0,1 \times \text{Fixed Capital Investment})} \quad (6.3)$$

3. *Break Even Point (BEP)*

Break Even Point adalah titik yang menunjukkan tingkat dimana biaya dan penghasilan jumlahnya sama. Dengan *Break Even Point*, kita dapat menentukan

tingkat berapa harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum dan berapa harga serta unit penjualan yang harus dicapai agar mendapat keuntungan.

$$BEP = \frac{Fa + 0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\% \quad (6.4)$$

Keterangan:

Fa = *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va = *Annual Variable Value* pada produksi maksimum

Sa = *Annual Sales Value* pada produksi maksimum

4. *Shut Down Point* (SDP)

Shut Down Point merupakan suatu titik pada *Break Even Chart* yang menunjukkan bahwa operasi produksi dalam pabrik harus diberhentikan. Penyebab dari pemberhentian operasi pabrik dapat karena sistem manajemen yang buruk, *variable cost* tinggi, dan faktor lain yang menyebabkan perusahaan tidak mendapatkan profit.

$$SDP = \frac{0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\% \quad (6.5)$$

Keterangan:

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va = *Annual Variable Value* pada produksi maksimum

Sa = *Annual Sales Value* pada produksi maksimum

5. *Discounted Cash Flow* (DCF)

Discounted Cash Flow adalah salah satu cara untuk menganalisis kelayakan ekonomi pabrik di mana *Discounted Cash Flow* didefinisikan sebagai jumlah

uang dari keuntungan yang tidak digunakan untuk pinjaman modal dan bunganya. Untuk menentukan *Discounted Cash Flow* maka perlu dilakukan trial hingga didapatkan:

$$(FC + WC)(1 + i)^N = C \sum_{n=1}^N (1 + i)^{-n} = x - 1i = 0x + wc + sv \quad (6.6)$$

Keterangan:

FC = *Fixed Capital*

WC = *Working Capital*

SV = *Salvage Value*

C = *Cash Flow (profit after taxes + depresiasi + finance)*

n = Umur pabrik

i = Nilai dari DCFR

6.5 Hasil Perhitungan

Tabel 6. 4 *Physical plant cost*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Purchased Equipment cost</i>	89.885.167.359,50	5.962.927,38
2	<i>Delivered Equipment Cost</i>	22.471.291.839,88	1.490.731,85
3	<i>Instalation cost</i>	38.650.621.964,59	2.564.058,77
4	Pemipaan	32.358.660.249,42	2.146.653,86
5	Instrumentasi	26.965.550.207,85	1.788.878,21
6	Insulasi	7.190.813.388,76	477.034,19
7	Listrik	8.988.516.735,95	596.292,74
8	Bangunan	135.306.395.000,00	8.976.144,02
9	<i>Land & Yard Improvement</i>	49.000.000.000,00	3.250.630,22
TOTAL		410.817.016.745,95	27.253.351,25

Tabel 6. 5 *Direct plant cost*

No	Type of Expenses	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Engineering and constrution</i>	5.450.670,25	82.163.403.349,19
2	<i>Direct Plant Cost</i>	32.704.021,50	492.980.420.095,14

Tabel 6. 6 *Fixed capital investment*

No	Type of Expenses	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Direct Plant Cost</i>	32.704.021,50	492.980.420.095,14
2	<i>Cotractor's fee</i>	1.308.160,86	19.719.216.803,81
3	<i>Contingency</i>	8.176.005,38	123.245.105.023,78
TOTAL		42.188.187,74	635.944.741.922,73

Tabel 6. 7 *Direct manufacturing cost*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	20.206.711.592,62	1.340.500,97
2	<i>Labor</i>	938.664.252,60	62.270,42
3	<i>Supervision</i>	93.866.425,26	6.227,04
4	<i>Maintenance</i>	12.718.894.838,45	843.763,75
5	<i>Plant Supplies</i>	1.907.834.225,77	126.564,56
6	<i>Royalty and Patents</i>	3.793.635.500,00	251.667,47
7	<i>Utilities</i>	26.945.444,98	1.787,54
TOTAL		39.686.552.279,69	2.632.781,76

Tabel 6. 8 *Indirect manufacturing cost*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Payroll Overhead</i>	140.799.637,89	9.340,56
2	<i>Laboratory</i>	140.799.637,89	9.340,56
3	<i>Plant Overhead</i>	563.198.551,56	37.362,25
4	<i>Packaging and Shipping</i>	87.253.616.500,00	5.788.351,90
TOTAL		88.098.414.327,34	5.844.395,27

Tabel 6. 9 *Fixed manufacturing cost*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depreciation</i>	50.875.579.353,82	3.375.055,02
2	<i>Property taxes</i>	9.539.171.128,84	632.822,82
3	<i>Insurance</i>	6.359.447.419,23	421.881,88
TOTAL		66.774.197.901,89	4.429.759,71

Tabel 6. 10 *Manufacturing cost*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	39.686.552.279,69	2.632.781,76
2	<i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>	88.098.414.327,34	5.844.395,27
3	<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	66.774.197.901,89	4.429.759,71
TOTAL		194.559.164.508,92	12.906.936,75

Tabel 6. 11 *Working capital*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material Inventory</i>	1.836.973.781,15	121.863,72
2	<i>Inproses Onventory</i>	24.319.895.563,61	1.613.367,09
3	<i>Product Inventory</i>	17.687.196.773,54	1.173.357,89
4	<i>Extended Credit</i>	34.487.595.454,55	2.287.886,13
5	<i>Available Cash</i>	17.687.196.773,54	1.173.357,89
TOTAL		96.018.858.346,38	6.369.832,72

Tabel 6. 12 *General expenses*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Administration</i>	11.380.906.500,00	755.002,42
2	<i>Sales Expense</i>	22.761.813.000,00	1.510.004,84
3	<i>Research</i>	11.380.906.500,00	755.002,42
4	<i>Finance</i>	14.639.272.005,38	971.160,41
TOTAL		60.162.898.005,38	3.991.170,09

Tabel 6. 13 Total biaya produksi

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	194.559.164.508,92	12.906.936,75
2	<i>General Expenses(GE)</i>	60.162.898.005,38	3.991.170,09
TOTAL		254.722.062.514,30	16.898.106,84

Tabel 6. 14 *Fixed cost*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depresiasi</i>	39.455.318.668,30	2.617.441,86
2	<i>Property Taxes</i>	7.397.872.250,31	490.770,35
3	<i>Asuransi</i>	4.931.914.833,54	327.180,23
TOTAL		51.785.105.752,14	3.435.392,45

Tabel 6. 15 *Variable cost*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	20.206.711.592,62	1.340.500,97
2	<i>Packaging</i>	113.830.330.648,03	7.551.434,96
3	<i>Shipping</i>	3.794.344.354,93	251.714,50
4	<i>Utilities</i>	26.945.444,98	1.787,54
5	<i>Royalty & Patent</i>	3.793.635.500,00	251.667,47
TOTAL		141.651.967.540,57	9.397.105,45

Tabel 6. 16 *Regulated cost*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Gaji Karyawan	938.664.252,60	62.270,42
2	<i>Payroll Overhead</i>	140.799.637,89	9.340,56
3	<i>Supervision</i>	93.866.425,26	6.227,04
4	<i>Plant Overhead</i>	563.198.551,56	37.362,25
5	Laboratorium	140.799.637,89	9.340,56
6	<i>General Expense</i>	57.495.124.867,70	3.814.191,65
7	<i>Maintenance</i>	24.659.574.167,69	1.635.901,17
8	<i>Plant Supplies</i>	3.698.936.125,15	245.385,17
TOTAL		87.730.963.665,75	5.820.018,82

6.5.1. Analisa Keuntungan

Harga jual produk Biohidrogen	:	Rp 75.872,71/kg
Annual Sale (Sa)	:	Rp 379.363.550.000
Total Cost	:	Rp 254.722.062.514,30
Keuntungan sebelum pajak	:	Rp 124.641.487.486
Keuntungan setelah pajak	:	Rp 81.016.966.865,70

6.5.2. Percent Return On Investment (ROI)

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

ROI sebelum pajak = 19,60%

ROI sesudah pajak = 12,74%

6.5.3. Pay Out Time (POT)

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{\text{Keuntungan Tahunan} + (0,1 \times \text{Fixed Capital Investment})}$$

POT sebelum pajak = 3,38 tahun

POT sesudah pajak = 4,40 tahun

6.5.4. Break Even Point (BEP)

$$BEP = \frac{Fa + 0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\%$$

Didapatkan nilai BEP = 41,87%

6.5.5. Shut Down Point (SDP)

$$SDP = \frac{0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\%$$

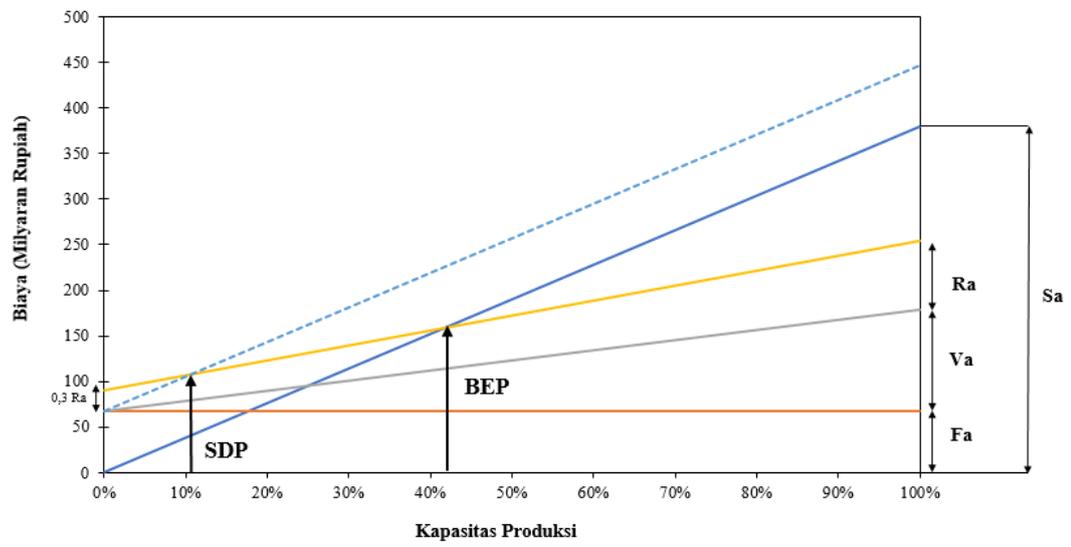
Didapatkan nilai SDP = 10,73%

6.5.6. Discounted Cash Flow Rate (DCFR)

Umur pabrik	:	10 tahun
<i>Fixed Capital Investment</i>	:	Rp 635.944.741.922,73
<i>Working Capital</i>	:	Rp 96.018.858.346,38
<i>Salvage Value (SV)</i>	:	Rp 50.875.579.353,82
<i>Cash Flow (CF)</i>	:	<i>Annual profit + SV + finance</i>
CF	:	Rp 146.531.818.224,91

$$(FC + WC)(1 + i)^N = C \sum (1 + i)^n = x - 1i = 0x + wc + sv$$

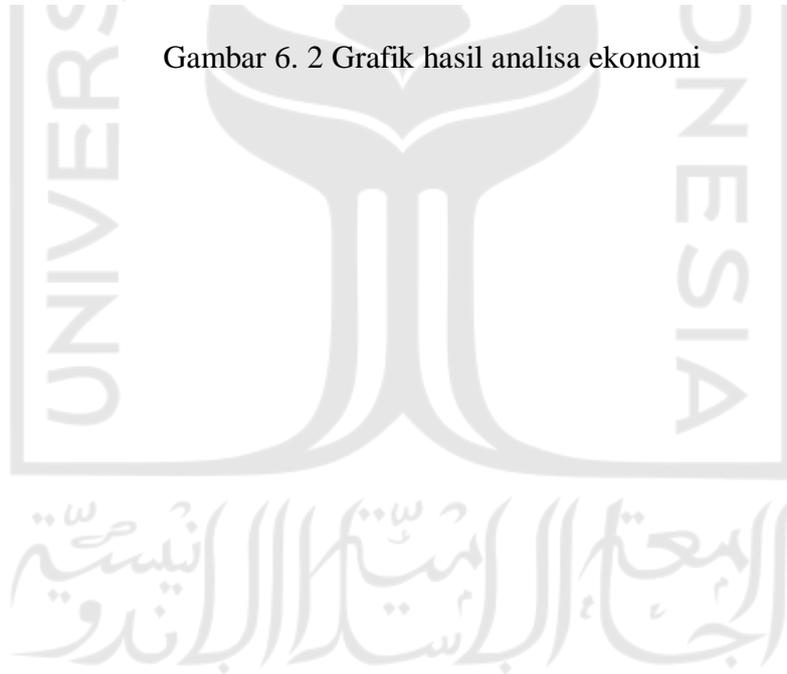
Nilai *Discounted Cash Flow* dihitung dengan cara *trial and error* untuk mendapatkan nilai *i* sebesar 18,52% sehingga diperoleh nilai $R = S$ sebesar Rp 4.002.987.455.046.



Keterangan:

- Fa : Fixed cost annually
- Va : Variable cost annually
- Ra : Total cost annually
- Sa : Total sales annually

Gambar 6. 2 Grafik hasil analisa ekonomi



BAB VI

PENUTUP

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis prarancangan pabrik Biohidrogen kapasitas produksi 5.000 ton/tahun yang ditinjau baik dari segi teknik maupun ekonomi maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Produk H₂ memiliki kemurnian 99,99% yang sesuai dengan kualitas H₂ untuk keperluan komersial. Impuritas dari H₂ berupa udara.
2. Proses produksi biohidrogen secara garis besar adalah penyaringan, reaksi elektrokoagulasi, pemisahan 3 fase, adsorpsi gas campuran H₂, dan penyimpanan.
3. Proses pengolahan air limbah domestik secara garis besar adalah penyaringan, reaksi elektrokoagulasi, pemisahan 3 fase, proses aerobik lumpur aktif, pengendapan, desinfeksi.
4. Hasil analisa aspek ekonomi pabrik didapatkan sebagai berikut:
 - a. Keuntungan : Keuntungan sebelum pajak sebesar Rp 124.641.487.486/tahun, dan keuntungan setelah pajak sebesar Rp 81.016.966.865,70/tahun.
 - b. Presentase *Return Of Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 19,60% dan ROI setelah pajak sebesar 12,74% (pabrik resiko rendah) (syarat resiko rendah minimum sebesar 11%) (Aries & Newton, 1955; United States Patent No. US3974055A, 1974)
 - c. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak 3,38 tahun sedangkan sesudah pajak adalah 4,40 tahun.

- d. *Break Event Point* (BEP) didapatkan pada nilai 41,87% dan *Shut Down Point* (SDP) pada nilai 10,73% (syarat: BEP untuk pabrik kimia sebesar 40% - 60%) (Aries & Newton, 1955).
 - e. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) sebesar 18,52% (syarat: DCFR minimum diatas 1,5 x suku bunga pinjaman bank).
5. Termasuk ke dalam pabrik berisiko rendah apabila ditinjau berdasarkan aspek ketersediaan bahan baku, peluang penjualan produk, dan kondisi operasi yang dijalankan.
 6. Berdasarkan hasil peninjauan mulai dari ketersediaan bahan baku, kondisi operasi proses, potensi angka permintaan produk di masa depan, peluang penjualan produk, dan hasil evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik Biohidrogen dengan kapasitas 5.000 ton/tahun layak dikaji untuk dapat didirikan di masa mendatang.

7.2. Saran

1. Kajian lebih dalam mengenai perancangan geometri reaktor elektrokoagulasi perlu dilakukan. Hal ini dapat menghemat biaya pengeluaran pabrik dengan memanufaktur reaktor sendiri dibandingkan membeli reaktor jadi yang belum tentu sesuai dengan kapasitas proses yang diinginkan.
2. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui termodinamika dan kinetika produksi hidrogen dari elektrokoagulasi agar dapat mendeskripsikan secara jelas mengenai reaksi keseluruhan yang terjadi pada elektrokoagulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Rahman, Z. A., Mhdi , A. H., & Auob, H. S. (2016). Parametric Study for Nitrogen Separation from Air by Pressure Swing Adsorption Using Carbon Molecular Sieve . *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 1-9.
- Allevi, C., & Collodi, G. (2017). 12 - Hydrogen production in IGCC systems. *Integrated Gasification Combined Cycle (ICGCG) Technologies*, 419-443.
- Anonim. (2022, August 7). High-Pressure Gas Cylinder Precautions. Retrieved from Shimadzu: <https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/handling-precautions/gas-chromatography/bombe5/index.html>
- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). *Chemical engineering cost estimation*. New York: McGraw-Hill.
- Bailón-Martínez, A., Pavón-Silva , T., Ibanez, J. G., & Roa-Morales, G. (2017). Simultaneous electrocoagulation of dam water and. *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, 238-256.
- Benemann, J. R. (1973). Hydrogen evolution by chloroplast-ferredoxin-hydrogenase system. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 2317-2320.
- Bennemann, J. (2000). Hydrogen production by microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 291-300.
- Brown, G. G. (1950). *Unit operations*. New York: Wiley.
- D’Bastiani, C., Alba, J. L., Mazzarotto, G. T., Neto, S. R., Reynolds, A., Kennedy, D., & Beal, L. L. (2021). Three-phase hydrodynamic simulation and experimental validation of an upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Computers & Mathematics with Applications*, 95-110.

DIREKTORAT JENDERAL CIPTA KARYA KEMENTERIAN PEKERJAAN
 UMUM DAN PERUMAHAN. (n.d.). *BUKU A PANDUAN
 PERENCANAAN TEKNIK TERINCI BANGUNAN PENGOLAHAN
 LUMPUR TINJA* .

Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations : Third Edition*.
 New Jersey: Prentice Hall International.

Ghimire, A., Frunzo, L., Pirozzi, F., Trably, E., Escudie, R., Lens, N. P., & Esposito,
 G. (2015). Ghimire, Anish; Frunzo, Luigi; Pirozzi, Francesco; Trably, Eric;
 Escudie, Renaud; Lens, Piet N.L.; Esposito, Giovanni (2015). A review on
 dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process
 parameters and use of by-products. *Applied Energy*, 73-95.

Islam, A. K., Dunlop, P. S., Hewitt, N. J., Lenihan, R., & Brandoni, C. (2021). Bio-
 Hydrogen Production from Wastewater: A Comparative Study of Low
 Energy Intensive Production Processes. *Clean Technologies*, 156-182.

Jolly , W. L. (2022, February 12). *hydrogen*. Retrieved from Britannica:
<https://www.britannica.com/science/hydrogen>

Kern, D. Q. (1950). *Process heat transfer*. New York: McGraw-Hill.

Levina, D. B., Pitt, L., & Love, M. (2004). Biohydrogen production: prospects and
 limitations to practical application. *International Journal of Hydrogen
 Energy*.

Mallesh, B., B, M. K., & N, K. B. (2018). A Review of Electrocoagulation Process
 for Wastewater Treatment. *International Journal of ChemTech Research*,
 298-302.

- Miyamoto, K., Hallenbeck, P. C., & Benemann, J. (1979). Nitrogen Fixation by Thermophilic Blue-Green Algae (Cyanobacteria): Temperature Characteristics and Potential Use in Biophotolysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 454-458.
- Mollah, M. (2001). Fundamentals. Present, and Future Perspectives of Electrocoagulation. *Journal of Hazardous Material*, 199-210.
- Osman, A. I., Deka, T. J., & Baruah, D. C. (2020). Critical challenges in biohydrogen production processes from the organic feedstocks. *Biomass Conversion and Biorefinery*, -.
- Pandu, K., & Joseph, S. (2012). COMPARISONS AND LIMITATIONS OF BIOHYDROGEN PRODUCTION PROCESSES: A REVIEW. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 342-356.
- Park, Y.-J. L.-J.-H.-K.-H. (2006). Adsorption Equilibria of O₂, N₂, and Ar on Carbon Molecular Sieve and Zeolites 10X, 13X, and LiX. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 1001-1008.
- Permenkes. (2017). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

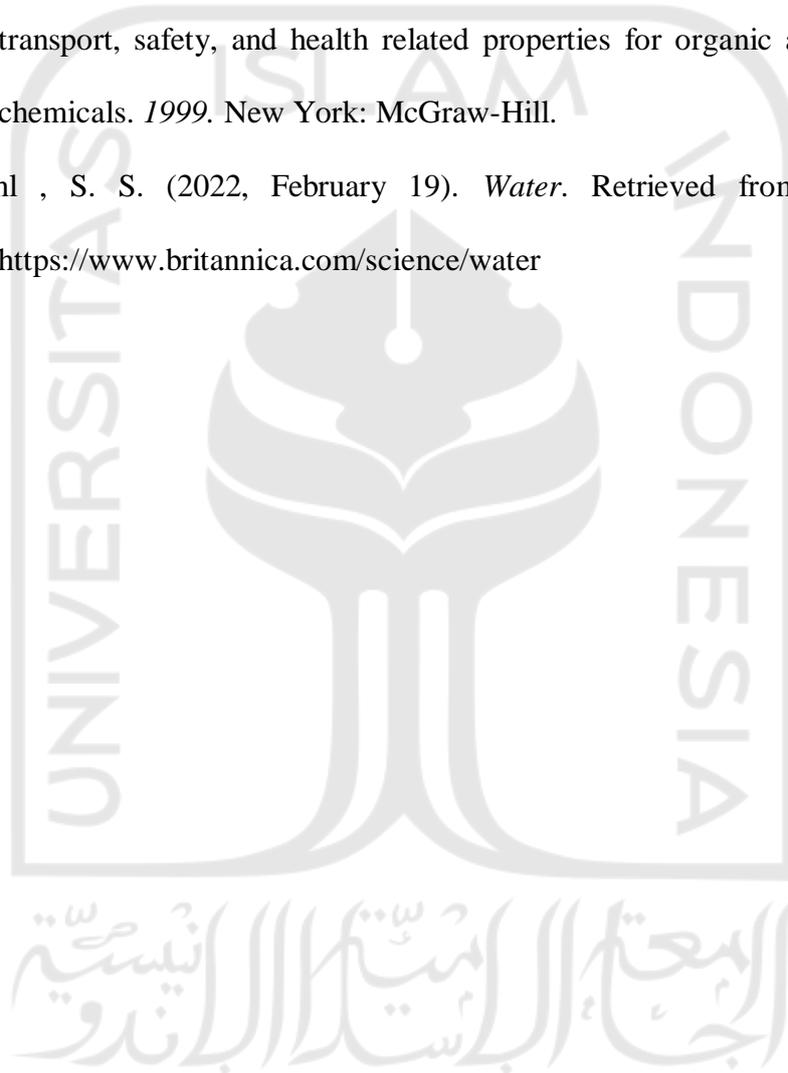
- Phalakornkule, C., Sukkasem, P., & Mutchimsattha, C. (2010). Hydrogen recovery from the electrocoagulation treatment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 10934-10943.
- Qasim, S. R. (1985). *Wastewater treatment plants: Planning design and operation*. New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Rahman S. N. A., M. M. (2015). Overview of Biohydrogen Production Technologies and Application in Fuel Cell. *American Journal of Chemistry*, 13-23.
- Rahman S. N. A., M. M. (2015). Overview of Biohydrogen Production Technologies and Application in Fuel Cell. *American Journal of Chemistry*, 13-23.
- Reding, J. T., & Riley, Jr., R. L. (1974). *United States Patent No. US3974055A*.
- S, K. Z. (2008). Treatment of mild domestic wastewater using subsurface constructed wetlands in Malaysia. *International Journal of Environmental Studies*, 87-102.
- Shankar, R., Shambhoo, S., Varma, A. K., Mondal, P., & Chand, S. (2021). Sulphide Removal from Water Through Electrocoagulation:.. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*.
- Silla, H. (2003). *Chemical process engineering: Design and economics*. New York: M. Dekker.
- Smith, J. M. (1959). *Introduction to chemical engineering thermodynamics*. New York: McGraw-Hill.

- Tchobanoglous, G. B. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. Boston: McGraw-Hill.
- Towler, G., & Sinnott, R. (1999). *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Tretsiakova-McNally, S. (2022, August 7). LECTURE - Safety of hydrogen storage. Retrieved from Hyresponse: http://www.hyresponse.eu/files/Lectures/Safety_of_hydrogen_storage_notes.pdf
- Trisakti, B. I. (2012). Perancangan Awal Pabrik Biohidrogen Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Fermentasi Anaerobik Pada Kondisi Termofilik. *Jurnal Teknik Kimia - USU*, 30-37.
- Turton, R. (2003). *Analysis, synthesis, and design of chemical processes*. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.
- Widyarani, Wulan, D. R., Hamidah, U., Rosmalina, R. T., Komarulzaman, A., & Sintawardani, N. (2022). Domestic wastewater in Indonesia: generation, characteristics. *Environmental Science and Pollution Research* , 32397-32414.
- World Health Organization. (2003). *Aluminium in Drinking-water : Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva: WHO Marketing and Dissemination.

Xu, Y., Wu, Y., & Sun, Q. (2014). Flow Characteristics of the Raw Sewage for the Design of Sewage-Source Heat Pump Systems. *Scientific World Journal*, Article ID 503624 .

Yaws, C. Chemical properties handbook: Physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals. 1999. New York: McGraw-Hill.

Zumdahl , S. S. (2022, February 19). *Water*. Retrieved from Britannica: <https://www.britannica.com/science/water>



LAMPIRAN A

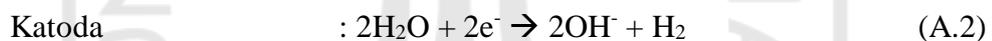
Perancangan Reaktor

Jenis : *Batch Electrocoagulation Reactor*
Fungsi : Tempat berlangsungnya reaksi elektrolisis air menjadi biohidrogen dan koagulasi flokulasi kontaminan pada limbah air domestik

Kondisi operasi :

- a. Suhu : 25°C
- b. Tekanan : 1 atm
- c. Kondisi proses : Non-isotermal
- d. Konversi : 89%

1. Persamaan reaksi



2. Stoikiometri reaksi

Kapasitas produk : 5000 Ton/Tahun

Jumlah hari kerja dalam 1 tahun : 330 hari

1 hari kerja : 24 jam

Basis operasi : 1 jam

Basis perhitungan :

$$\frac{5000 \text{ ton}}{1 \text{ tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} = 631,313 \text{ Kg/jam}$$

Gas H₂ yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi masih perlu dipisahkan dan ditingkatkan kemurniannya hingga 99,99%. Dengan fungsi *goal seek*, maka didapatkan jumlah massa produk H₂ yang harus dihasilkan dari reaksi elektrolisis agar produk akhir H₂ hasil purifikasi dapat mencapai 631,313 kg/jam atau 5000 ton/tahun.

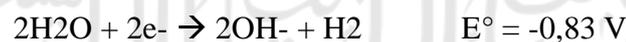
Dari persamaan reaksi A.3, maka dapat diketahui massa masing-masing komponen yang terlibat dalam proses.

	2Al	+	$6\text{H}_2\text{O}$	\rightarrow	2Al(OH)_3	+	3H_2	
mula-mula	278,16		834,47		-		-	kmol/jam
bereaksi	247,56		742,67		247,56		371,34	kmol/jam
setimbang	30,60		91,79		247,56		371,34	kmol/jam

3. Tegangan pada Reaktor



Potensial sel diperoleh dengan mengurangi potensial reduksi pada reduksi di katoda dan potensial reduksi pada oksidasi di anoda.



$$E^\circ = -0,83 - (-1,67) \text{ V}$$

$$E^\circ = 0,84 \text{ Volt}$$

Artinya, kita membutuhkan minimal 0,84 V agar proses elektrokoagulasi dapat berjalan. Dalam prakteknya, kita membutuhkan tegangan yang lebih besar dari nilai yang dihitung (*overvoltage*). *Overvoltage* merupakan *driving*

force tambahan yang diperlukan untuk mengatasi hambatan seperti energi aktivasi yang besar untuk pembentukan gas pada permukaan logam. *Overvoltage* yang dapat diberikan air pada pH 7 adalah 1 V, sehingga nilai tegangan minimum yang diperlukan sebesar 1,84 Volt.

Namun proses elektrokoagulasi biasanya menggunakan tegangan yang lebih besar untuk mempercepat proses oksidasi anoda dan penghilangan kontaminan dalam limbah air. Peningkatan nilai tegangan juga disesuaikan dengan kuat arus sehingga kita perlu menghitung kuat arus yang diperlukan untuk menyesuaikan tegangan yang diberikan pada reaktor.

4. Muatan Arus Listrik pada Reaktor

Nilai muatan arus listrik dapat dihitung berdasarkan perpindahan jumlah muatan H^+ untuk berikatan dengan elektron sehingga membentuk H_2 . Berdasarkan stoikiometri reaksi, jumlah H_2O yang terkonversi pada reaktor elektrogulasi adalah sebesar 742,67 kmol/jam, sehingga dapat disimpulkan bahwa elektron yang berpindah dari anoda menuju katoda adalah sebesar 742,67 kmol/jam.

$$\text{Bilangan Avogadro } (N_A) = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/kmol}$$

$$1 e^- = 1,60 \cdot 10^{19} \text{ C}$$

$$Q = I \cdot t$$

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$$

$$I = n \cdot N_A \cdot 1 e^- \quad (\text{A.4})$$

$$= 742,67 \text{ kmol/jam} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/kmol} \cdot 1,60 \cdot 10^{19} \text{ C}$$

$$= 71657286,87 \frac{\text{A.s}}{\text{jam}} \cdot \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ kA}}{1000 \text{ A}}$$

$$= 19,90 \text{ kA}$$

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 80% .

$$I \text{ Aktual} = \frac{I}{\text{Efisiensi}} = \frac{19,90 \text{ kA}}{80 \%} = 24,88 \text{ kA}$$

Berdasarkan US patent 4058448, rentang arus yang biasanya digunakan pada 1 buah reaktor elektrolisis adalah 150 kA. Sehingga besar kuat arus pada reaktor ini masih memenuhi standar yang ada.

5. Waktu Tinggal dalam Reaktor

Lamanya proses reaksi dapat ditentukan dengan rumus dibawah, di mana rumus tersebut berasal dari hukum Faraday.

$$t = \frac{F \times m}{I \times \text{BM}} \quad (\text{A.5})$$

Keterangan :

$$m = \text{massa produk (Kg)} = 742,67 \text{ kg}$$

$$\text{BM} = \text{berat molekul (Kg/kmol)} = 2 \text{ kg/kmol}$$

$$F = \text{konstanta Faraday (C/kmol)} = 96.485,3321 \text{ s.A/mol}$$

$$I = \text{kuat arus (C/s = A)} = 19.904,80 \text{ A}$$

$$t = \text{waktu tinggal (s)}$$

Penyelesaian :

$$t = \frac{96.485,3321 \frac{\text{s.A}}{\text{mol}} \cdot 742,67 \text{ kg}}{19.904,80 \text{ A} \cdot 2 \text{ kg/kmol}}$$

$$t = 1800 \text{ s} = 30 \text{ menit}$$

6. Daya Reaktor

$$P = V \times I \quad (\text{A.6})$$

Keterangan :

$$P = \text{daya (kW)}$$

$$V = \text{tegangan (V)}$$

$$I = \text{arus total (kA)}$$

Seperti yang telah dijelaskan pada poin (1) mengenai tegangan reaktor, dengan kuat arus sebesar 24,88 kA maka ditetapkan tegangan yang sesuai untuk menjalankan reaktor sebesar 501,7 V. Nilai tegangan ini didapatkan berdasarkan perbandingan antara kuat arus dan tegangan pada reaktor *existing*.

$$P = V \times I$$

$$P = 501,7 \text{ V} \times 24,88 \text{ kA}$$

$$P = 12.483,18 \text{ kW}$$

Sehingga daya yang diperlukan reaktor sebesar 12.483,18 kW.

7. Dimensi Reaktor

Banyaknya umpan masuk reaktor adalah sebesar 15039,10 L/jam. Menggunakan reaktor industri dari Shenzhen Waterpower Environment Protection Equipment Co Ltd menyesuaikan dengan kapasitas yang ada, maka dimensi reaktor yang didapat adalah sebagai berikut :

a. Sel

$$\text{Panjang} = 2,1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 1,9 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 1,7 \text{ m}$$

b. Elektroda

$$\text{Panjang} = 1,51 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 1,75 \text{ m}$$

$$\text{Jarak} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Tebal} = 0,003 \text{ m}$$

c. Material

Anoda = Aluminium

Katoda = Aluminium

Volume reaktor = Panjang x Lebar x Tinggi

$$= 2,1 \text{ m} \times 1,9 \text{ m} \times 1,7 \text{ m}$$

$$= 7,14 \text{ m}^3$$

8. Menghitung Hambatan Listrik pada Reaktor

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

(A.7)

$$\text{mho/m} = S/m$$

$$S = \Omega^{-1}$$

Keterangan :

r = resistivitas (Wm)

K = konduktivitas Al (mho/m)

Konsentrasi Al yang masuk ke reaktor elektrokoagulasi adalah sebesar 1,0014 g/L.

$$\text{Molaritas Al} = \frac{\text{Konsentrasi larutan Al}}{\text{BM}}$$

$$\text{Molaritas Al} = \frac{1,0014 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{27 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,04 \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{Konduktivitas molar Al} &= 189 \text{ S.cm}^2/\text{mol} \\ &= 1900 \text{ mho/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{K Al} &= 1900 \text{ mho/m} \cdot 0,04 \text{ M} \\ &= 700,98 \text{ mho/m} \end{aligned}$$

$$r = \frac{1}{\text{K}} = \frac{1}{700,98 \text{ mho/m}} = 0,001 \text{ } \Omega\text{m}$$

$$R = r \frac{L}{A} \tag{A.8}$$

Keterangan :

r = resistivitas (Wm)

L = jarak elektroda (m)

A = luas elektroda (m²)

$$R = r \frac{L}{A} = 0,001 \text{ } \Omega\text{m} \frac{0,02 \text{ m}}{1,51 \text{ m} \times 1,75 \text{ m}} = 0,00001 \text{ } \Omega$$

9. Kenaikan Suhu dari Kawat Penghantar Listrik

Karena termodinamika reaksi elektrokoagulasi tidak menyerupai termodinamika konvensional, maka kenaikan suhu yang ada dalam reaktor dihasilkan dari kawat penghantar listrik. Besarnya kenaikan suhu pada larutan adalah sebesar :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{RI^2}{\rho \cdot c_p} \tag{A.9}$$

Keterangan:

T = Suhu (K)

t = Waktu (s)

I = Kuat arus (A)

ρ = Densitas kawat (tembaga) (kg/m^3)

C_p = Kapasitas panas kawat (tembaga) ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)

R = Hambatan listrik (Ω)

$$\frac{dT}{1800 \text{ s}} = \frac{0,00001 \Omega \cdot (24,881 \text{ A})^2}{8960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 385 \text{ J}/\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$dT = 3,49 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \text{Suhu akhir reaktor} &= (25^\circ\text{C} + 273,15 \text{ K}) + 3,49 \text{ K} \\ &= 301,64 \text{ K atau } 28,49^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka dengan kenaikan suhu sebesar $3,49^\circ\text{C}$, dinilai masih berada di rentang optimal kondisi operasi operator yaitu pada suhu ruang.

10. Menghitung *Current Density*

$$n_{\text{H}_2} = \frac{J \cdot A \cdot t}{F} \cdot H \quad (\text{A.10})$$

Keterangan :

n_{H_2} = jumlah H_2 yang dihasilkan (mol)

I = arus yang di *supply* (Ampere)

J = *current density* yang disediakan (Am^{-2})

A = luas elektroda (m^2)

F = konstanta Faraday (96485,3321 C/mol elektron)

H = jumlah molekul H_2 yang dihasilkan per elektron yang terlibat

dalam reaksi redoks (nilai H tidak tergantung pada jenis anoda)

seperti besi atau aluminium. Nilai H sama dengan 1/2 pada kedua jenis anoda)

$$371,33 \text{ kmol} = \frac{J \cdot (1,51 \text{ m} \times 1,75 \text{ m})^2 \cdot 1800 \text{ s}}{96485,3321 \text{ s} \cdot \text{A/mol}} \cdot 1/2$$

$$J = 10.327,25 \text{ A/m}^2$$

Sehingga nilai *current density* pada reaktor sebesar 10.327,25 A/m².

11. Waktu Penggantian Elektroda

$$mE = \frac{I \cdot t \cdot M}{z \cdot F \cdot V} \quad (\text{A.11})$$

(Shankar, Shambhoo, Varma, Mondal, & Chand, 2021)

Keterangan:

M	= Berat molekul elektroda Al (kg/kmol)	= 27 kg/kmol
I	= Kuat arus (A)	= 24.881 A
t	= Waktu elektrokoagulasi (s)	= 1800 s
z	= Jumlah elektron Al	= 2
V	= Volume air limbah (L)	= 15039,10466 L

$$mE = \frac{24.881 \text{ A} \times 1800 \text{ s} \times 27 \text{ g/mol}}{2 \times 96485,3321 \text{ s} \cdot \frac{\text{A}}{\text{mol}} \times 15039,10466 \text{ L}}$$

$$mE = 0,28 \text{ g/L}$$

Jumlah anoda terlarut per hari = 0,28 g/L . 15039,10466 L/jam . 24 jam/hari

$$= 100.260,97 \text{ g/hari} = 100,26 \text{ kg/hari}$$

Total massa anoda Aluminium = 7510,185341 kg

$$\text{Waktu penggantian elektroda} = \frac{7510,185341 \text{ kg}}{100,26 \text{ kg/hari}} = 74,9 \text{ hari} = 75 \text{ hari}$$

Tabel A. 2 Penjadwalan reaktor (versi 2)

Waktu, menit	Pengisian	Reaksi	Pengosongan	Pembersihan	Pengisian	Reaksi	Pengosongan	Pembersihan	Pengisian	Reaksi	Pengosongan	Pembersihan
30	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4
30	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3
30	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2
15	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 1

	Reaktor 1
	Reaktor 2
	Reaktor 3
	Reaktor 4

Adapun penentuan waktu pengisian, pengosongan, dan pembersihan reaktor berdasarkan:

$$\text{Laju alir volumetrik (masuk) reaktor} = \frac{\text{Laju alir massa (masuk) reaktor}}{\text{Densitas limbah air}}$$

$$\text{Laju alir volumetrik (masuk) reaktor} = \frac{15.057,65 \text{ kg/jam}}{1001,4 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Laju alir volumetrik (masuk) reaktor} = 15,0366 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu pengisian reaktor} = \text{Waktu pengosongan reaktor}$$

$$\text{Waktu pengisian reaktor} = \frac{\text{Volume reaktor}}{\text{Laju alir volumetrik (masuk) reaktor}}$$

$$\text{Waktu pengisian reaktor} = \frac{\text{Volume reaktor}}{\text{Laju alir volumetrik (masuk) reaktor}} \cdot \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}}$$

$$\text{Waktu pengisian reaktor} = \frac{7,13 \text{ m}^3}{15,0366 \text{ m}^3/\text{jam}} \cdot \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}}$$

$$\text{Waktu pengisian reaktor} = \text{Waktu pengosongan reaktor}$$

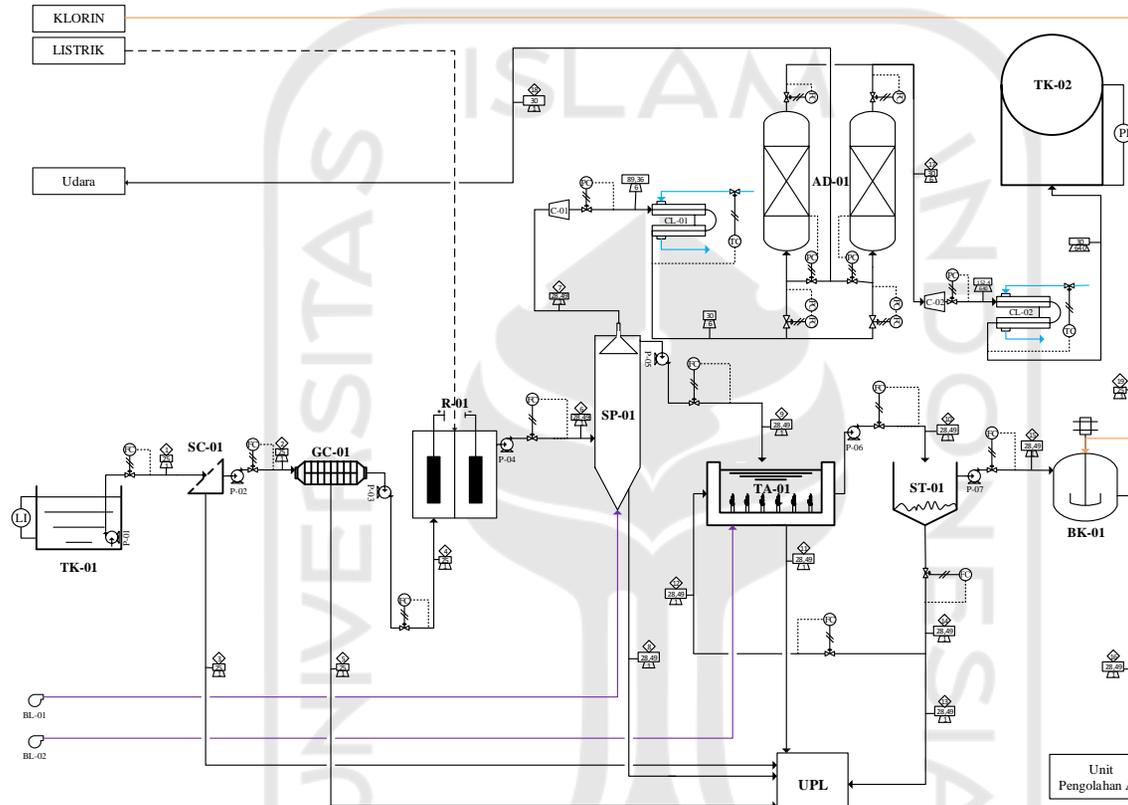
$$= 28,48 \text{ menit} \sim 29 \text{ menit} \sim 30 \text{ menit}$$

$$\text{Waktu pembersihan reaktor} = \frac{\text{Waktu pengosongan reaktor}}{2} = \frac{30 \text{ menit}}{2} = 15 \text{ menit}$$

LAMPIRAN B

PROCESS ENGINEER FLOW DIAGRAM

PRARANCANGAN PABRIK BIOHIDROGEN DARI DOMESTIC WASTEWATER DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN



KOMPONEN	ARIS (KGJAM)																			SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
CH ₂ COOH	0.20	0.20	-	0.20	-	0.20	-	-	0.1996	0.06	0.13	-	-	-	-	0.06	0.06	-	-				
C ₂ H ₄ O ₂	0.01	0.01	-	0.01	-	0.01	-	-	0.0002	0.0019	0.002	0.0002	0.0002	0.0002	-	0.01	0.03	-	-				
C ₂ H ₄ O	0.08	0.08	-	0.08	-	0.08	-	-	0.0830	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-				
C ₂ H ₃ COOH	0.03	0.03	-	0.03	-	0.03	-	-	0.026	-	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-				
C ₂ H ₃ CH ₂ CO ₂ H	0.04	0.04	-	0.04	-	0.04	-	-	0.0003	0.0373	0.01	0.03	-	-	-	0.01	-	-	-				
C ₂ H ₅ NO ₂	0.05	0.05	-	0.05	-	0.05	-	-	0.0541	0.02	0.04	-	-	-	0.01	0.02	-	-	-				
C ₂ H ₅ O ₂	0.01	0.01	-	0.01	-	0.01	-	-	0.0091	0.0091	0.004	0.01	0.0001	0.0004	0.002	0.0002	-	-	-				
BOD	8.80	8.14	0.66	7.94	0.20	7.94	-	-	5.465	2.4766	0.57	2.41	0.202	0.00254	0.206	0.0002	0.006	-	-				
COD	22.13	22.13	-	21.58	0.55	21.58	-	-	20.94	0.8865	0.20	0.93	0.143	0.00167	0.144	0.04	0.05	-	-				
N	0.38	0.38	-	0.38	-	0.38	-	-	0.301	0.0752	0.01	0.07	-	-	-	0.05	0.01	-	-				
P	0.01	0.01	-	0.01	-	0.01	-	-	0.012	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-				
SS	8.04	7.31	0.72	6.97	0.37	6.97	-	-	6.669	0.2865	0.05	0.26	0.023	0.00027	0.023	0.02	-	-	-				
Fe	0.02	0.02	-	0.02	-	0.02	-	-	0.007	0.0003	0.02	-	0.015	0.00017	0.017	0.02	0.0004	-	-				
BeD	15.020.37	15.020.37	-	15.020.17	-	1.652.24	-	-	0.022	1.652.2185	1.652.24	-	-	0.00026	0.023	0.0001	1.652.22	-	-				
Be	-	-	-	-	-	742.07	-	-	742.07	-	-	-	0.510	0.00097	-	1.652.22	-	631.27	111.40				
Al	-	-	-	-	-	826.12	-	-	826.120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
ArOH ₂	-	-	-	-	-	19.309.52	-	-	19.309.521	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-				
Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	91.96				
N ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	309.33	-	-	-	-	-	-	-	0.03	309.30				
TOTAL	15.090.16	15.068.78	1.30	15.057.65	1.12	22.567.84	1145.975326	20.168.74	1.656.43	1.652.08	3.96	1.02	0.01	0.52	1.652.46	1.652.47	631.31	514.66	0.05				

SIMBOL	KETERANGAN	SIMBOL	KETERANGAN
◇	Nomor Arus	SC	Screen Chamber
○	Suhu, °C	GC	Grit Chamber
□	Tekanan, atm	R	Reaktor
⊗	Control Valve	SP	Separator
—	Pipeline	AD	Adsorber
—	Electrical	TA	Tangki Aerasi
—	Pneumatic	ST	Settling Tank
—	Flow Controller	BK	Bak Klorinasi
—	Pressure Controller	C	Kompressor
—	Level Indicator	BL	Blower
—	Pressure Indicator	P	Pompa
—	Tangki Penyimpanan	TK	Cooler



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

PROCESS ENGINEER FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK BIOHIDROGEN DARI DOMESTIC WASTEWATER
KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN

DISUSUN OLEH :
1. Luthfi Nabila Nur Afifah (185210863)
2. Isna Tita Safira (18521092)
DOSEN PEMBIMBING :
1. Sholeh Ma'man, S.T., M.T., Ph.D.
2. Lucky Wahyu Nuzulita Setyaningsih, S.T., M.Eng.

LAMPIRAN C

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

1. Nama Mahasiswa : Isna Tita Safira
No. MHS : 18521092
2. Nama Mahasiswa : Luthfi Nabila Nur Afifah
No. MHS : 18521083
Judul Prarancangan :

PRARANCANGAN PABRIK BIOHIDROGEN DARI *DOMESTIC WASTEWATER* DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI
KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN

Mulai Masa Bimbingan : **6 Desember 2021**

Batas Akhir Bimbingan : **1 Desember 2022**

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	23 Desember 2021	Pengarahan awal	
2	7 Januari 2022	Penentuan kapasitas pabrik	
3	21 Januari 2022	Penentuan proses	
4	4 Februari 2022	Ketentuan penulisan naskah TA	
5	16 Maret 2022	Perubahan kapasitas pabrik dan neraca massa	
6	18 Maret 2022	Neraca massa reaktor dan arus <i>recycle</i>	
7	14 April 2022	Luaran penentuan spesifikasi bahan	
8	27 Juni 2022	PEFD	
9	19 Juli 2022	Layout pabrik dan reaktor	
10	25 Juli 2022	Naskah akhir dan <i>scheduling</i> reaktor	

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 25 Juli 2022

Pembimbing,



Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D.

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

1. Nama Mahasiswa : Isna Tita Safira
 No. MHS : 18521092
2. Nama Mahasiswa : Luthfi Nabila Nur Afifah
 No. MHS : 18521083
 Judul Prarancangan :

PRARANCANGAN PABRIK BIOHIDROGEN DARI *DOMESTIC*
WASTEWATER DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI
 KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN

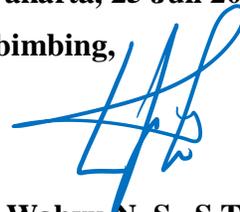
Mulai Masa Bimbingan : **6 Desember 2021**
 Batas Akhir Bimbingan : **1 Desember 2022**

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	2 Februari 2022	Kapasitas pabrik	/
2	14 Februari 2022	Diagram alir	/
3	15 Februari 2022	Reaksi proses dan penentuan komponen umpan	/
4	21 Februari 2022	Diagram alir dan arah arus proses	/
5	25 Februari 2022	Neraca massa alat besar	/
6	11 Maret 2022	Neraca massa arus recycle	/
7	25 Maret 2022	Neraca massa arus recycle	/
8	19 April 2022	Perhitungan alat besar dan reaktor	/
9	20 Mei 2022	Perhitungan reaktor, alat kecil (pompa), neraca panas dan alat penukar panas	/
10	1 Juli 2022	Neraca panas reaktor, suhu <i>discharge</i> kompresor, PEFD	/
11	21 Juli 2022	Evaluasi ekonomi, reaktor, operasi secara keseluruhan	/

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 25 Juli 2022

Pembimbing,



Lucky Wahyu N. S., S.T., M.Eng.

