

**PRA-RANCANGAN PABRIK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BIOGAS (PLTBg) DARI AIR LIMBAH PABRIK
KELAPA SAWIT DENGAN KAPASITAS 2,30 MWeL**

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



Disusun Oleh :

Nama : Heppy Murti Nityas

Nama : Artiya Agustin

NIM : 20521190

NIM : 20521205

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

2024

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PRA-RANCANGAN PABRIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Heppy Murti Nityas

Nama : Artiya Agustin

NIM : 20521190

NIM : 20521205

Yogyakarta, 03 November 2024

Menyatakan bahwa hasil Pra-Rancangan 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 risiko dan konsekuensi apapun. Demikian, surat pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Tanda Tangan,

Tanda Tangan,

Mahasiswa 1

Mahasiswa 2



Heppy Murti Nityas

Artiya Agustin

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING
PRA-RANCANGAN PABRIK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BIOGAS (PLTBg) DARI AIR LIMBAH PABRIK
KELAPA SAWIT DENGAN KAPASITAS 2,30 MWeL

PRARANCANGAN PABRIK



Nama : Heppy Murti Nityas

Nama : Artiya Agustin

NIM : 20521190

NIM : 20521205

Yogyakarta, 30 Oktober 2024

Pembimbing,



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

NIK : 105210102

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**PRA-RANCANGAN PABRIK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BIOGAS (PLTBg) DARI AIR LIMBAH PABRIK
KELAPA SAWIT DENGAN KAPASITAS 2,30 MWeL**

Oleh :

Nama : Heppy Murti Nityas Nama : Artiya Agustin
NIM : 20521190 NIM : 20521205

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, 13 Desember 2024

Tim Penguji

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

Ketua

Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng.

Anggota 1

Nur Indah Fajar Mukti, S.T., M.Eng., Dr.

Anggota 2



23/12/24

Mengetahui,

**Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



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

NIK. 995200445

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

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

Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik yang berjudul “**PRA-RANCANGAN PABRIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBg) DARI AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT DENGAN KAPASITAS 2,30 MWeL**”. Tugas Akhir prarancangan pabrik ini merupakan salah satu tugas yang harus diselesaikan oleh setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia dari Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penulisan laporan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan baik atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan Rahmat dan Karunia-Nya
2. Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan, doa dan motivasi selama mengenyam pendidikan S1 Teknik Kimia di Universitas Islam Indonesia

3. Bu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, dan petunjuk dalam penyusunan dan penulisan laporan ini.
6. Seluruh civitas akademika di lingkungan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
7. Teman – teman seperjuangan Teknik Kimia 2020 yang senantiasa memberikan dorongan, motivasi serta doa.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini, namun tidak dapat disebutkan satu per satu.

Kami menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, oleh karena itu, kami menerima masukan dan rekomendasi untuk menjadikannya lebih baik. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Yogyakarta, 03 November 2024

Penyusun

LEMBAR PERSEMBAHAN



Alhamdulillah Hirabbil 'Alamin dengan ucapan syukur yang tiada henti saya panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'Ala* yang SWT yang senantiasa memberikan petunjuk dan kemudahan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini, dan hanya atas izin-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini

Perjuangan saya hingga saat ini tidak luput dari orang-orang hebat yang saya temui sebagai penyemangat dalam menjalani perkuliahan dari awal hingga akhir. Tugas akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Orang Tua beserta keluarga besar, yang tidak pernah berhenti memberikan doa, semangat, kasih sayang, dorongan, dan kepercayaan. Semoga kelak saya dapat membalas jasa-jasa yang tak ternilai yang telah diberikan. Tidak lupa saya ucapkan terima kasih kepada kedua adik saya yang selalu memberikan semangat dan doa.
2. Bapak Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu di sela-sela kesibukannya untuk membimbing, mengarahkan, memberikan ilmu, dan menasehati kami.
3. Heppy Murti Nityas, rekan kerja dari penelitian hingga Tugas Akhir. Terima kasih atas kerja keras, kerjasama dan semua yang telah di lalui bersama. Semoga ilmu yang telah kita dapatkan menjadi berkah dan bermanfaat bagi orang-orang di sekitar kita. Semoga persahabatan kita tidak akan pernah putus baik didunia maupun diakhirat.

4. Teman-teman seangkatan saya di Teknik Kimia 2020, untuk semua kenangan yang telah saya dapatkan di dalam dan di luar kelas, serta semua kebaikan yang telah diberikan selama masa perkuliahan ini. Untuk semua teman terdekat saya yang selalu mendukung dan memotivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga kita semua sukses di dunia dan akhirat.
5. Untuk diri saya sendiri, terima kasih karena telah berjuang hingga sejauh ini dan tidak menyerah sampai tahap terakhir. Terima kasih telah menjadi kuat dan tidak memahami istilah lelah.

Artiya Agustin

Teknik Kimia UII 2020

LEMBAR PERSEMBAHAN



Assalamu 'alaikum wa rahmatullahi wabarakaatuh

Alhamdulillah rabbil 'aalamiin, Puji syukur saya hanturkan kehadiran Allah *Subhanahu, wa ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya, yang telah menjadi penolong pertama saya dalam segala hal sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan masa studi S1 Teknik Kimia saya di UII. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad *Sallahu Alaihi Wasallam*. Beserta keluarganya, para sahabatnya, serta para pengikutnya.

Dengan rasa syukur yang mendalam dan sebagai ucapan terimakasih saya sebesar-besarnya, skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua Orang Tua Tercinta (Murjoko dan Yetti Indiarti) yang tidak henti-hentinya memberikan doa, semangat, dorongan, kasih sayang dan kepercayaan. Semoga kelak saya dapat membalas jasa yang telah diberikan dan tidak ternilai harganya. Tidak lupa juga terimakasih kepada Adik kandung saya Franda Briggita Flourenzia yang selalu memberikan semangat dan doa.
2. Bapak Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu di tengah kesibukannya untuk membimbing, mengarahkan, memberi ilmu, dan menasehati kami.
3. Artiya Agustin selaku partner saya mulai dari Penelitian hingga Tugas Akhir. Terima kasih atas perjuangan, kerjasama, kesabaran dan semua yang telah di lewatkan semoga ilmu yang kita dapatkan berkah dan bermanfaat untuk sekitar.

Bukan hanya itu, terima kasih karena telah menjadi sahabat seperjuangan yang sudah saya anggap seperti saudara yang selalu supportif dan selalu ada untuk saya dalam keadaan suka maupun duka dari awal kita kenal hingga sekarang dan semoga untuk selamanya persahabatan kita berdua diberkahi Allah SWT. Aamiin.

4. Semua teman saya yang selalu mendukung dan membantu baik moril maupun materil.
5. Teman-teman seperjuangan saya di Teknik Kimia 2020 yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Atas segala kenangan yang telah saya dapatkan di dalam kelas maupun di luar kelas. Semoga kita semua sukses baik dunia maupun akhirat.
6. Semua pihak yang telah memberikan banyak bantuan dan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini dari awal hingga akhir.
7. Terakhir, terima kasih untuk diri saya sendiri karena telah mampu berjuang dengan keras dan bertahan dari banyaknya ketidak-percayaan, ketakutan, ketidak-beranian hingga sampai di titik terakhir. Berbahagialah.

Heppy Murti Nityas

Teknik Kimia UII 2020

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik	3
1.3 Tinjauan Pustaka	6
1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika	22
BAB II.....	40
PERANCANGAN PRODUK	40
2.1 Spesifikasi Produk.....	40
2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung.....	41
2.3 Pengendalian Kualitas	42
2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku	43
2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses	45
2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk	49
BAB III	51
PERANCANGAN PROSES	51
3.1 Diagram Alir Proses dan Material.....	51
3.2 Uraian Proses	53
3.3 Spesifikasi Alat	58

3.4	Neraca Massa	70
3.5	Neraca Panas	77
BAB IV		79
PERANCANGAN PABRIK		79
4.1	Lokasi Pabrik	79
4.2	Tata Letak Pabrik (Plant Layout)	84
4.3	Tata Letak Mesin/Alat Proses (Machines Layout).....	88
4.4	Organisasi Perusahaan	92
BAB V.....		112
UTILITAS		112
5.1	Unit Penyediaan Air dan Pengolahan Air (Water Treatment System)	113
5.2	Unit Pembangkit Listrik (Power Plant System).....	124
5.3	Unit Pengolahan Limbah (UPL)	125
BAB VI		127
EVALUASI EKONOMI		127
6.1	Penaksiran Harga Alat.....	128
6.2	Dasar Perhitungan	131
6.3	Perhitungan Biaya	131
6.4	Analisa Kelayakan Pabrik	133
6.5	Hasil Perhitungan	138
BAB VII		146
PENUTUP		146
7.1	Kesimpulan	146
7.2	Saran.....	148
DAFTAR PUSTAKA		149
LAMPIRAN A		151
LAMPIRAN B		166
LAMPIRAN C		168

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Proyeksi Produksi POME berdasarkan Kapasitas PKS.....	5
Tabel 1. 2 Perbandingan Proses Produksi Biogas.....	11
Tabel 1. 3 Perbandingan Proses Anaerobic Digestion.....	12
Tabel 1. 4 Harga ΔG°_f komponen	24
Tabel 1. 5 Harga ΔG°_f komponen	26
Tabel 1. 6 Harga ΔG°_f komponen	27
Tabel 1. 7 Harga ΔG°_f komponen	29
Tabel 1. 8 Harga ΔG°_f komponen	31
Tabel 1. 9 Harga ΔG°_f komponen	33
Tabel 1. 10 Harga ΔG°_f komponen	34
Tabel 1. 11 Koefisien stoikiometri dan parameter kinetik.....	38
Tabel 2. 1 Spesifikasi Biogas.....	40
Tabel 2. 2 Spesifikasi Bahan Baku Palm Oil Mill Effluent (POME)	41
Tabel 2. 3 Spesifikasi Bahan Pendukung Kalsium Oksida (CaO).....	42
Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor	58
Tabel 3. 2 Spesifikasi Mixer	59
Tabel 3. 3 Spesifikasi Absorber	59
Tabel 3. 4 Spesifikasi Water Trap	60
Tabel 3. 5 Spesifikasi Gas Engine	61
Tabel 3. 6 Spesifikasi Flare.....	61
Tabel 3. 7 Spesifikasi Centrifuge.....	62
Tabel 3. 8 Spesifikasi Expander	62
Tabel 3. 9 Spesifikasi Tangki Penyimpanan	63
Tabel 3. 10 Spesifikasi Bak Penyimpanan.....	64
Tabel 3. 11 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Padat	65
Tabel 3. 12 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair	66

Tabel 3. 13 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Gas	68
Tabel 3. 14 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Gas	68
Tabel 3. 15 Spesifikasi Jaket Pemanas	69
Tabel 3. 16 Neraca Massa Total.....	70
Tabel 3. 17 Neraca Massa Bak Penampungan.....	72
Tabel 3. 18 Neraca Massa Mixer	72
Tabel 3. 19 Neraca Massa Reaktor	73
Tabel 3. 20 Neraca Massa Absorber	73
Tabel 3. 21 Neraca Massa Water Trap	74
Tabel 3. 22 Neraca Massa Gas Engine	75
Tabel 3. 23 Neraca Massa Flare.....	75
Tabel 3. 24 Neraca Massa Centrifuge.....	76
Tabel 3. 25 Neraca Panas Mixer	77
Tabel 3. 26 Neraca Panas reaktor	77
Tabel 3. 27 Neraca Panas Absorber	77
Tabel 3. 28 Neraca panas Water Trap	77
Tabel 3. 29 Neraca Panas Gas Engine	78
Tabel 3. 30 Neraca Panas Flare	78
Tabel 3. 31 Neraca Panas Centrifuge.....	78
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Proses	122
Tabel 5. 2 Total Kebutuhan Air Unit Utilitas.....	124
Tabel 6. 1 Data Indeks Harga Alat Proses	128
Tabel 6. 2 Physical Plant Cost (PPC)	138
Tabel 6. 3 Direct Plant Cost (DPC)	138
Tabel 6. 4 Fixed Capital Investement (FCI)	138
Tabel 6. 5 Working Capital Investement (WCI).....	139
Tabel 6. 6 Direct Manufacturing Cost (DMC)	139
Tabel 6. 7 Indirect Manufacturing Cost (IMC).....	139
Tabel 6. 8 Fixed Manufacturing Cost (FMC)	139

Tabel 6. 9 General Expense (GE)	140
Tabel 6. 10 Analisa Kelayakan	140
Tabel 6. 11 Annual Fixed Cost (Fa).....	141
Tabel 6. 12 Regulated Cost (Ra).....	141
Tabel 6. 13 Variabel Cost (Va).....	141
Tabel 6. 14 Resiko Pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit	144

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Diagram alir kualitatif.....	51
Gambar 3. 2	Diagram alir kuantitatif.....	52
Gambar 4. 1	Peta Lokasi Rencana Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)	80
Gambar 4. 2	Lay Out Pembangkit Listrik Tenaga Biogas	86
Gambar 4. 3	Tata Letak Alat Proses Pabrik	91
Gambar 4. 4	Struktur Organisasi Pabrik.....	96
Gambar 5. 1	Diagram Alir Proses Pengolahan Air	121
Gambar 6. 1	Grafik Tahun vs Indeks Harga	130
Gambar 6. 2	Grafik Evaluasi Analisis Kelayakan Ekonomi	143

ABSTRAK

Palm Oil Mill Effluent (POME) adalah salah satu limbah yang dihasilkan dari sebuah pabrik kelapa sawit (PKS). Umumnya air limbah kelapa sawit mengandung konsentrasi bahan organik yang tinggi, menawarkan potensi energi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti gas alam (biogas) karena ringan dan mudah terbakar yang kemudian dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga biogas. Pendirian pabrik pembangkit listrik tenaga biogas diperkirakan pada tahun 2029 di Kurau Barat, Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dengan kapasitas 2,30 MWeL dan didirikan di atas tanah seluas 16.000 m² dengan 98 karyawan. Pabrik beroperasi selama 24 jam per hari dan 330 hari per tahun dengan kebutuhan bahan baku POME sebesar 58.231,30 kg/jam dan kalsium oksida sebesar 19,23 kg/jam. Reaksi berlangsung secara *isothermal* dengan menggunakan jenis reaktor *covered lagoon* pada suhu 35°C dan 1 atm. Utilitas yang diperlukan terdiri dari air domestik sebanyak 992 kg/jam, air proses sebanyak 1.272,1998 kg/jam, air service sebanyak 490 kg/jam dan 1.011 kW listrik dari PLN. Analisa risiko menunjukkan bahwa pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) tergolong pabrik berisiko rendah. Dari evaluasi ekonomi diproyeksikan memiliki keuntungan sebelum pajak sebesar Rp. 99.239.130.186 dan sesudah pajak sebesar Rp. 79.391.304.149. Berdasarkan studi kelayakan diperoleh *Return on Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 20,27 % dan ROI setelah pajak sebesar 16,22 % dengan *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak 3,4 tahun dan POT setelah pajak sebesar 4 tahun. Selain itu *Break Event Point* (BEP), *Shut Down Point* (SDP), dan *Discounted Cash Flow of Return* (DCFR) masing-masing sebesar 48,23%, 20,14%, 15,27%. Dari evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dari limbah pabrik kelapa sawit (POME) layak untuk didirikan di Indonesia.

Kata Kunci : Biogas, Pembangkit Listrik Tenaga Biogas, Pome

ABSTRACT

Palm Oil Mill Effluent (POME) is one of the wastes generated from a palm oil mill (PKS). Generally, palm oil wastewater contains a high concentration of organic matter, offering energy potential that can be used as a substitute fuel for natural gas (biogas) because it is light and flammable which is then utilized as a biogas power plant. The establishment of a biogas power plant is expected in 2029 in West Kurau, Central Bangka Regency, Bangka Belitung Islands Province with a capacity of 2.30 MWeL and is established on a land area of 16,000 m² with 98 employees. The plant operates for 24 hours per day and 330 days per year with POME raw material requirements of 58,231.30 kg/hour and Calcium oxide of 19.23 kg/hour. The reaction takes place isothermally using a covered lagoon reactor type at 35°C and 1 atm. The required utilities consist of domestic water of 992 kg/hour, process water of 1,272.1998 kg/hour, service water of 490 kg/hour and 1,011 kW of electricity from PLN. Risk analysis shows that the biogas power plant (PLTBg) is classified as a low-risk plant. Based on the feasibility study, the pre-tax Return on Investment (ROI) is 20.27% and the after-tax ROI is 16.22% with a pre-tax Pay Out Time (POT) of 3.4 years and an after-tax POT of 4 years. In addition, the Break Event Point (BEP), Shut Down Point (SDP), and Discounted Cash Flow of Return (DCFR) were 48.23%, 20.14%, 15.27% respectively. From the economic evaluation, it can be concluded that a biogas power plant from palm oil mill effluent (POME) is feasible to be established in Indonesia.

Key Words: Biogas, Biogas Power Plant, Pome

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting untuk keberlangsungan hidup manusia. Di Indonesia, bahan bakar fosil masih menjadi sumber energi yang dominan. Sumber energi fosil, seperti bahan bakar minyak dan gas alam, tidak dapat diperbaharui karena berasal dari endapan fosil yang membutuhkan waktu jutaan tahun untuk diubah menjadi minyak bumi dan gas alam. Upaya-upaya harus dilakukan untuk mendiversifikasi sumber energi terbarukan alternatif. Biogas merupakan salah satu dari sekian banyak sumber energi terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia. Kebijakan Energi Nasional menetapkan target energi terbarukan sebesar 23% dari bauran energi nasional pada tahun 2025. Penetapan target bauran EBT diharapkan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030.

Indonesia merupakan negara produsen dan pengeksport minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Tahapan proses produksi minyak kelapa sawit menghasilkan limbah padat dan cair. Limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) sebagian besar dihasilkan selama fase sterilisasi, klarifikasi, dan pengoperasian hidrosiklon di pabrik kelapa sawit (PKS). Pembuatan 1 ton CPO membutuhkan antara 5 hingga 7,5 ton air, dengan lebih dari 50% air yang digunakan berakhir sebagai POME. Jika limbah ini dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai, maka akan merusak ekosistem dan

mengeluarkan gas rumah kaca (GRK) yang berkontribusi terhadap pemanasan global. POME mengandung konsentrasi bahan organik yang tinggi, menawarkan potensi energi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti gas alam (biogas) karena ringan dan mudah terbakar.

Biogas dari aktifitas anaerobik banyak digunakan untuk mengolah limbah yang dapat terurai secara hayati karena dapat menghasilkan bahan bakar sekaligus menghilangkan bakteri patogen dan menurunkan volume limbah buangan. Ketika biogas dibakar, gas metana yang dihasilkan lebih bersih daripada batu bara, menghasilkan lebih banyak energi dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Penggunaan biogas sangat penting dalam pengelolaan limbah karena gas metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dalam hal pemanasan global daripada karbon dioksida. Selain itu, proses produksi biogas menghasilkan lumpur yang bisa dimanfaatkan menjadi pupuk.

Energi biogas merupakan sumber energi terbarukan yang berpotensi tinggi untuk dikonversi menjadi pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg). Biogas biasanya digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan panas atau listrik. Pabrik kelapa sawit dapat menggunakan biogas dari POME untuk memenuhi kebutuhan panas dan listrik mereka. Meskipun pemanfaatan biogas dari POME secara teknis, komersial, dan ekologis cukup menjanjikan, namun kurang dari 10% pabrik kelapa sawit di Indonesia yang telah menggunakan teknologi produksi biogas dari POME. Hal ini berkaitan dengan masalah teknis dalam pengelolaan dan pengolahan proses serta penerapan teknologi yang belum efektif. Oleh karena itu, prarancangan pabrik pembangkit listrik

tenaga biogas (PLTBg) dari POME perlu dikembangkan guna memanfaatkan limbah hasil produksi sekaligus memberikan manfaat ekonomis. Studi ini akan mencakup evaluasi teknis dari proses produksi biogas, termasuk analisis kinerja reaktor biogas, efisiensi produksi biogas, dan pemodelan proses. Selain itu, aspek ekonomi juga akan dipertimbangkan.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) akan dibangun dengan kapasitas 2,30 MWeL untuk pendirian pabrik pada tahun 2028 dan akan beroperasi pada tahun 2029. Dalam suatu pemilihan dan perhitungan jumlah kapasitas merupakan faktor yang penting karena dapat mempengaruhi proses perencanaan dari teknis maupun ekonomi dan agar produk yang dihasilkan sesuai dengan permintaan dan bahan bakunya. Penentuan kapasitas ini memperhatikan adanya perkiraan ketersediaan bahan baku berupa *Palm Oil Mill Effluent (POME)* atau limbah cair kelapa sawit yang dihasilkan selama satu tahun dengan menerapkan prinsip tidak adanya limbah yang tersisa (*zero waste*).

1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, merupakan salah satu provinsi dengan banyaknya perusahaan serta pengembangan pabrik kelapa sawit (PKS) nasional di Indonesia. Hal ini berkaitan dengan banyaknya perusahaan pabrik kelapa sawit, diiringi pula dengan meningkatnya jumlah sampah limbah organik cair maupun padat yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit tersebut, maka dari itu diperlukan pengolahan lebih

lanjut terhadap limbah - limbah tersebut. Alasan pemilihan dengan menggunakan bahan baku tersebut adalah agar terjadi hubungan timbal balik yang menguntungkan satu sama lain antara pabrik dengan lingkungan. Dimana memberikan keuntungan untuk lingkungan karena dapat mengurangi jumlah bahan organik yang menjadi indikator pencemaran lingkungan. Sedangkan pabrik akan memperoleh keuntungan dengan mengolah biogas untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik karena kebutuhan biogas yang meningkat seiring dengan konsumsi energi listrik yang setiap tahunnya terus meningkat karena peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Sehingga, pembangunan pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) sangat diperlukan untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan energi listrik industri dan sumber energi yang diharapkan dapat juga membuka lapangan kerja. Listrik yang dihasilkan selain dapat digunakan untuk kepentingan industri, dapat juga digunakan untuk listrik rumah tangga karena sebagian besar listrik rumah tangga di sekitar pabrik kelapa sawit masih disuplai dari generator dengan bahan bakar solar.

Dikarenakan pabrik pembangkit listrik tenaga biogas akan dibangun di wilayah Kabupaten Bangka Tengah maka dari itu, diambil *Palm Oil Mill Effluent (POME)* atau limbah cair kelapa sawit diperoleh dari hasil pengolahan kelapa sawit di PKS PT. Putera Bangka Tani di wilayah Belilik, Kecamatan Namang, Kabupaten Bangka Tengah, Kepulauan Bangka Belitung, agar meminimalkan biaya transportasi bahan baku. Pabrik kelapa sawit (PKS) PT. Putera Bangka Tani merupakan salah satu perusahaan pabrik kelapa sawit (PKS) nasional di Indonesia. Jumlah ketersediaan bahan baku *Palm Oil Mill Effluent (POME)* di PT. Putera Bangka Tani sebesar 335,

493 m³/hari (Buku lingkungan hidup bangka Belitung, 2022). Produksi dan konsumsi pada POME didasari terhadap kapasitas produksi kelapa sawit, contohnya dapat dilihat pada Tabel 1.1 sebagai berikut:

Tabel 1. 1 Proyeksi Produksi POME berdasarkan Kapasitas PKS

Kapasitas PKS (ton TBS/jam)	POME yang dihasilkan (m³/jam)	Potensi Daya (MWe)
30	21	1,1
45	31,5	1,6
60	42	2,1
90	63	3,2
Total potensi Energi di Indonesia		
34.280	23.996	1.280

Sumber : Winrock International 2015

Asumsi: Setiap ton TBS menghasilkan 0,7 m³ limbah cair, PKS beroperasi 20 jam per hari, konsentrasi COD 55.000 mg/l (Yuwono et al., 2015). Satu ton Tandan Buah Segar (TBS) menghasilkan 600 – 700 kg limbah cair. Untuk 30 ton TBS kelapa sawit dapat menghasilkan sekitar 21 m³/jam limbah cair kelapa sawit. Sedangkan dari 1 m³ dapat dihasilkan 28,3 m³ biogas dengan kandungan 62,5% (Zulkifli, 2016). Berdasarkan buku lingkungan hidup Bangka Belitung tahun 2022 diketahui jumlah ketersediaan bahan baku POME di PKS PT. Putera Bangka Tani sebesar 335, 493 m³/hari. Dari kapasitas produksi pabrik PLTBg yang akan dibangun pada tahun 2028 ini memerlukan ketersediaan POME sebesar 58.231,30 kg. Sehingga, belum mencukupi untuk memenuhi semua kebutuhan POME yang diperlukan, maka dari itu

kebutuhan POME yang kurang akan ditambahkan dengan cara membeli kebutuhan POME dari beberapa PKS sekitar pabrik. Dalam satu PKS didapatkan produksi CH₄ sebesar 214,33 kg/jam dengan asumsi 90% konversi COD ketersediaan POME. Sehingga, untuk kapasitas pembangkitan daya nya didapatkan 2,30 MWeL. Berikut perhitungannya :

Kapasitas Pembangkitan Daya

$$= 14.679,51 \frac{Nm^3 CH_4}{hari} \times 35,7 \frac{MJ}{Nm^3} \times 38\% \times \frac{hari}{24 \times 60 \times 60} detik$$

$$= 2,30 MWeL$$

Sehingga kapasitas pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) yang akan didirikan pada tahun 2028 berdasarkan ketersediaan bahan baku air limbah pabrik kelapa sawit yaitu sebesar 2,30 MWeL dengan sudah mempertimbangkan faktor-faktor di atas. Pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) direncanakan mengolah POME dari hasil pengolahan 30 ton TBS/Jam yang diharapkan dapat memenuhi dari kebutuhan total energi listrik dalam negeri pada tahun 2028 mendatang.

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Biogas

Biogas adalah sumber energi berkelanjutan yang terbentuk secara alami ketika bakteri metanogenik menguraikan limbah organik, baik cair maupun padat, menjadi gas. Komponen utama biogas adalah metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Kedua gas tersebut dapat dibakar atau dioksidasi untuk

menghasilkan energi, yang kemudian dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, menghangatkan rumah, atau bahan bakar kendaraan. Metana adalah gas rumah kaca yang 21 kali lebih berbahaya daripada karbondioksida (CO_2). Namun, metana apabila terbakar akan lebih bersih dibandingkan batu bara. Karbon dalam biogas adalah karbon yang diambil dari atmosfer melalui fotosintesis tanaman, sehingga ketika dilepaskan kembali ke atmosfer, tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.

Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar energi karena kandungan metana yang tinggi yaitu 55% hingga 75%. Biogas dari POME telah digunakan di berbagai pabrik kelapa sawit di Indonesia untuk menghasilkan listrik, yang kemudian dijual atau dipasok ke jaringan listrik publik (PLN). Pabrik kelapa sawit dapat menggunakan biogas dari POME untuk memenuhi kebutuhan panas dan listrik mereka (Choong, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Yacob dkk (2006), menemukan bahwa dengan menggunakan sistem pencernaan anaerobik, 1 m^3 POME (*palm oil mill effluent*) dapat menghasilkan 28 m^3 biogas, dengan rasio metana dan karbondioksida sebesar 65:35. Dalam penelitian lain, Ithnin dkk. (2018) menunjukkan bahwa pemodelan regresi linier memprediksi bahwa hingga 909,76 m^3 POME dan sekitar 34.489,70 m^3 biogas dapat dihasilkan. Biogas berkualitas tinggi, seperti yang ditunjukkan oleh Firdaus dkk. (2017),

mengandung konsentrasi metana yang tinggi dan tingkat kontaminan yang rendah, sehingga menghasilkan kandungan energi yang tinggi.

1.3.2 Limbah Air Kelapa Sawit (POME)

Limbah air kelapa sawit (POME) merupakan limbah yang terbentuk dari kondensat yang tidak beracun tetapi memiliki potensi kontaminasi yang signifikan karena komposisi organiknya. Proses pembuatan minyak sawit mentah (CPO) di pabrik kelapa sawit menggunakan banyak air, yang sebagian besar akan berakhir menjadi POME. Limbah cair kelapa sawit (POME) terdiri dari bahan organik dengan konsentrasi tinggi karena bersentuhan dengan bahan organik selama proses pembuatan CPO. Setiap ton tandan buah kelapa sawit segar (TBS) dapat menghasilkan 0,7 m³ hingga 1 m³ POME (Lok et al., 2020).

Indonesia merupakan produsen dan eksportir minyak kelapa sawit terbesar di dunia dan seiring dengan bertambahnya luas perkebunan kelapa sawit, jumlah minyak kelapa sawit yang dihasilkan juga semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan peningkatan produksi minyak kelapa sawit, dan juga peningkatan limbah cair kelapa sawit (POME) di Indonesia. Badan Pusat Statistik (BPS) melaporkan bahwa pada tahun 2022, perkebunan kelapa sawit di Riau dengan area seluas 2,86 juta hektar, menghasilkan sekitar 8,86 juta ton minyak kelapa sawit dan limbah cair sebanyak 22,15 juta ton/m³. Potensi energi dari biomassa POME di provinsi riau sebesar 90 MweL dengan pengurangan emisi sebanyak 568.000 ton (CO₂)/tahun (sawitindonesia.com, 2019).

Berdasarkan jumlah energi yang dihasilkan tersebut, dapat dipastikan bahwa potensi penggunaan bioenergi dari POME sangat besar.

Evaluasi dampak lingkungan yang dilakukan oleh Sodri (2022) mengungkapkan bahwa penggunaan biogas dari POME sebagai pembangkit listrik tenaga biogas dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) yang menjadi sumber pemanasan global. POME dengan potensi emisi sebesar 1.920 ton (CO₂)-eq/bulan dapat mengurangi emisi GRK sebesar 1.131 ton (CO₂)-eq/bulan. Hal ini sangat baik untuk kelestarian lingkungan, oleh karena itu produksi biogas dari POME harus digunakan secara ekstensif di pabrik kelapa sawit lainnya.

1.3.3 Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)

Pembangkit listrik tenaga biogas menggunakan proses penguraian alami untuk menghasilkan listrik dengan mengubah POME menjadi biogas, yang kemudian dibakar untuk menghasilkan energi sambil meminimalkan dampak lingkungan dari produksi minyak kelapa sawit. Pada tahun 2011, banyak perusahaan kelapa sawit yang menyadari manfaat ekonomi dari penggunaan metana dalam biogas untuk produksi listrik guna memenuhi kebutuhan internal pabrik dan menggantikan minyak diesel. Pada tahun 2014, Peraturan Menteri No. 27/2014 tentang *feed-in* tarif untuk energi terbarukan dari biomassa dan biogas meningkatkan minat untuk menjual listrik dari proyek konversi POME menjadi energi ke jaringan listrik PLN.

Berdasarkan Peraturan tersebut, perusahaan pemilik pembangkit listrik tenaga biogas dapat menjual listrik ke Perusahaan Listrik Negara (PLN) baik melalui Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik (Power Purchase Agreement/PPA) atau dengan perjanjian penjualan *excess power* (kelebihan energi). Subsidi pemerintah ini membuat pembangkit listrik tenaga biogas menjadi lebih layak secara finansial.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Firdausi (2020) melaporkan bahwa POME memiliki kapasitas untuk menghasilkan 42.336 kWh listrik per tahun di wilayah Jambi. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Pasaribu dkk (2021), menemukan hasil yang berbeda setelah melakukan uji coba pembangkit listrik tenaga biogas di sebuah peternakan sapi, yang menghasilkan energi sebesar 686 kWh per tahun. Sementara itu, penelitian yang dilakukan sugiyono (2019) menetapkan bahwa meskipun pembangkit listrik tenaga biogas layak untuk dibangun, namun dapat berdampak buruk pada udara, air, dan suara. Untuk mengurangi polusi udara, yang meliputi bau, polutan, dan debu, pemasangan peralatan perlindungan lingkungan diperlukan. Berdasarkan data potensi energi tersebut, dapat disimpulkan bahwa potensi penggunaan energi tenaga biogas dari limbah air kelapa sawit (POME) tersebut sangat besar.

1.3.4 Pemilihan Proses

Pemilihan proses sangat penting ketika memutuskan jenis teknologi proses yang akan digunakan. Hal ini karena pemilihan proses yang tepat menentukan fungsi optimal dari fasilitas produksi, yang mengarah pada pendapatan yang besar. Berikut perbandingan proses produksi biogas (metana) yang umum digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. 2 Perbandingan Proses Produksi Biogas

No.	Parameter	Proses Produksi Biogas		
		<i>Anaerobic Digestion</i>	<i>Gasifikasi Biomassa</i>	<i>Metanasi</i>
1.	Bahan Baku	Limbah organik (kotoran hewan, sisa makanan, limbah pertanian).	Biomassa padat (kayu, jerami, limbah pertanian).	Karbon dioksida (CO ₂) dan hidrogen (H ₂).
2.	Kadar Metana Produk	50-80% metana dalam biogas.	2-3% metana dalam <i>syngas</i> .	90% atau lebih metana dalam produk akhir.
3.	Kondisi Operasional	Suhu 35-55 °C, tanpa oksigen.	Suhu 700-1000 °C, dengan kontrol oksigen.	Suhu 300-400 °C, dengan katalis.
4.	Produk Utama	Biogas (metana dan CO ₂).	Gas sintetis (CO, H ₂ , dan sedikit metana).	Metana (CH ₄)
5.	Produk samping	<i>Digestate</i> (dapat digunakan sebagai pupuk), nitrogen dan fosfor	Abu, tar, dan <i>syngas</i> yang tidak terbakar	Air (H ₂ O)

Berdasarkan data yang ditampilkan, proses yang dipilih untuk produksi biogas atau metana dari limbah air kelapa sawit (POME) adalah *anaerobic digestion*, karena proses yang terjadi pada suhu yang relatif rendah sehingga tidak membutuhkan kontrol suhu yang kompleks, selain itu dapat menghasilkan biogas atau metana dalam jumlah yang relatif besar, dengan bahan baku yang sesuai yaitu limbah organik yang produk sampingnya bisa diolah kembali menjadi pupuk. Proses penguraian anaerobik dipilih untuk konversi POME menjadi energi karena kemampuannya untuk membuat biogas secara efisien.

1.3.5 Fermentasi Anaerobik (*Anaerobic Digestion*)

Proses *anaerobic digestion* pada pengolahan limbah POME menjadi biogas umumnya menggunakan dua proses utama, yaitu proses *anaerobic digestion mesophilic* (20-40 °C) dan proses *anaerobic digestion thermophilic* (50-65 °C). Berikut perbandingan proses *anaerobic digestion* :

Tabel 1. 3 Perbandingan Proses Anaerobic Digestion

No.	Parameter	Proses <i>Anaerobic Digestion</i>	
		<i>Mesophilic</i>	<i>Thermophilic</i>
1.	COD <i>removal</i>	76 – 92 %	89 – 94 %
2.	Rentang suhu operasi	20 – 40 °C	50 – 65 °C
3.	Suhu optimal	35 °C	55 °C
4.	Media imobilisasi	Tidak memerlukan	Memerlukan media

		media imobilisasi	imobilisasi
5.	PH fluktuasi	7.2 – 8.0	7.2 – 8.5
6.	Waktu retensi hidrolik	15 – 25 hari	3 – 10 hari
7.	Maksimal pengurangan bahan organik	45 – 55 %	55 – 70 %
8.	Produksi biogas	920 – 980 (Nm ³ / 1000 kg)	950 – 1000 (Nm ³ / 1000 kg)
9.	Kandungan gas metana	56,3 %	59,8 %
10.	Kandungan gas CO ₂	32,8 %	39 %
11.	Aklimatisasi	52 hari	45 hari

(Winrock International, 2015)

Berdasarkan penjelasan diatas, pemilihan proses *anaerobic digestion termophilic* menghasilkan kinerja yang lebih baik dalam produksi biogas dan penyisihan COD serta memerlukan waktu yang lebih singkat untuk menyelesaikan aklimatisasi dibandingkan dengan kondisi mesofilik. Meski demikian, dari kedua proses diatas, perbandingan produksi gas metana dan produksi biogas yang dihasilkan pada kondisi *mesophilic* dan *termophilic* menunjukkan perbandingan nilai yang tidak terlalu jauh, sehingga dapat ditentukan bahwa proses *mesophilic anaerobic digestion* yang tepat untuk dipilih dengan pertimbangan pembentukan biogas yang lebih efektif dengan pengoperasiaan yang sederhana dan tidak memakan banyak biaya produksi.

1.3.6 Proses Pembentukan Biogas

Proses *anaerobic digestion* memainkan peran penting dalam produksi biogas dari pengolahan limbah (POME) sebagai sumber energi terbarukan. Proses anaerobik sangat kompleks yang melibatkan beberapa proses seperti hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Berikut ini adalah tahapan dalam proses *anaerobic digestion* :

a. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan proses pemecahan enzimatik bahan kimia yang kompleks (polimer) menjadi lebih sederhana (monomer) dengan menginteraksikan senyawa kompleks tersebut dengan air. Selama tahap hidrolisis, air bereaksi dengan polimer organik rantai panjang seperti polisakarida, lemak, dan protein untuk membentuk polimer rantai pendek yang dapat larut seperti gula, asam lemak rantai panjang, dan asam amino dengan bantuan enzim selulosa seperti amilase, lipase, atau protease (enzim yang diproduksi mikroorganisme). Proses ini dapat memperlambat laju pembentukan biogas, yang ditentukan oleh substrat yang dihidrolisis. Proses hidrolisis ini biasanya terjadi dalam 7 hari pertama, hidrolisis karbohidrat dapat terjadi dalam hitungan jam, tetapi hidrolisis protein dan lemak membutuhkan waktu beberapa hari. Reaksi yang terjadi:



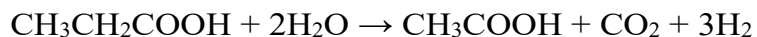
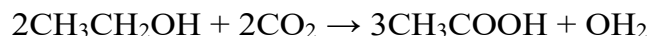
b. Asidogenesis

Proses asidogenesis merupakan proses yang memecah molekul yang kompleks dalam fase cair. Selama fase asidogenesis terjadi oksidasi anaerobik menggunakan substrat yang dihasilkan pada tahap hidrolisis seperti gula, asam lemak rantai panjang, dan asam amino. Substrat diperlukan untuk proses oksidasi anaerobik, yang melibatkan mikroba pembentuk asam. Bakteri pembentuk asam (bakteri asidogenik) dapat memecah molekul organik menjadi bahan kimia yang lebih sederhana, seperti asam organik (asam propionat dan asam butirat), (CO_2), (H_2) dan (H_2S). Reaksi yang terjadi:



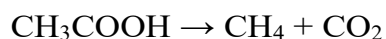
c. Asetogenesis

Asetogenesis merupakan proses pembentukan hidrogen dimana bakteri asetogenik mengubah asam lemak dan etanol/alkohol menjadi asam asetat (CH_3COOH), karbon dioksida (CO_2), dan hidrogen (H_2). Bakteri asetogenik mendegradasi asam organik dan senyawa netral yang lebih besar dari metanol menghasilkan asam asetat dan hidrogen. Bakteri metanogenik tidak dapat memakan molekul asam lemak dan etanol secara langsung, oleh karena itu tahap asetogenesis sangat penting dalam menghasilkan biogas yang optimal. Bakteri asetogen sensitif terhadap perubahan lingkungan dan membutuhkan waktu yang lama untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan baru. Reaksi yang terjadi :

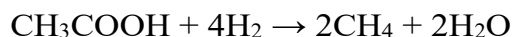


d. Metanogenesis

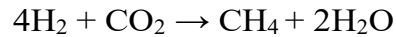
Metanogenesis adalah tahapan pembentukan biogas di mana bakteri metanogenik (metanogen) mengubah asam lemak dan etanol menjadi biogas. Mikroorganisme penghasil metana (metanogen) seperti *methanococcus*, *methanobacterium*, dan *methanosarcina* memetabolisme asam lemak dan alkohol menjadi metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Selama tahap metanogenesis, metana dihasilkan melalui dua rute utama, yaitu rute primer dan rute sekunder. Rute primer dapat mengubah asam asetat yang merupakan produk fermentasi utama dari tahap pembuatan asam, menjadi metana dan karbondioksida (CO_2). Bakteri penghasil asam menghasilkan kondisi udara yang menguntungkan bagi bakteri metana. Sementara itu, bakteri pembentuk metana menggunakan asam yang dibuat oleh bakteri penghasil asam. Bakteri asetoklastik (asetofilik) bertanggung jawab atas konversi asam asetat. Reaksi keseluruhannya adalah sebagai berikut.



Para peneliti mengidentifikasi reaksi tambahan berdasarkan pertimbangan termodinamika dan data eksperimen yang dilakukan :



Rute sekunder memanfaatkan hidrogen (H_2) untuk menghasilkan metana (CH_4) dengan mereduksi (CO_2) dengan metanogen hidrogenofilik:



Subtrat dalam proses metanogenesis hanya dapat digunakan dari sejumlah kecil senyawa seperti hidrogen, asam asetat, metanol, karbondioksida dan format. Berdasarkan stoikiometri, para ahli memperkirakan bahwa asam asetat dapat menghasilkan sekitar 70% metana dan 30% sisanya berasal dari hidrogen (H_2) dan karbondioksida (CO_2). Ketiga tahap pertama dikenal sebagai fermentasi asam, sedangkan tahap terakhir, yaitu metanogenesis dikenal sebagai fermentasi metanogenesis.

1.3.7 Faktor Yang Mempengaruhi Pembentukan Biogas

Aktivitas mikroba dalam bioreaktor memerlukan kondisi operasi yang optimal. Kondisi operasional ini harus dievaluasi dan disesuaikan secara berkala agar tetap berada dalam kisaran yang dapat diterima. Hal ini dikarenakan mikroorganisme penghasil metana sangat sensitif terhadap perubahan kondisi operasi ini. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas adalah :

a. Derajat keasaman (pH)

Mikroorganisme sangat sensitif terhadap fluktuasi pH. Oleh karena itu, diperlukan zat penyangga (*buffer*) untuk mempertahankan pH sistem digester selama proses produksi biogas. Derajat keasaman (pH) dari sistem digester memiliki dampak yang signifikan terhadap proses pencernaan anaerobik

mikroorganisme. Oleh karena itu, menjaga pH sistem sangat penting untuk mendapatkan sistem yang sesuai agar proses pencernaan dapat berjalan dengan baik dan proses produksi biogas menghasilkan hasil yang baik. Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa kisaran pH 6,5-7,5 optimal untuk efisiensi dan stabilitas sistem anaerobik, meski demikian operasi yang stabil dapat terjadi di luar kisaran ini. Dengan kata lain, kisaran pH yang diizinkan untuk pencernaan anaerobik untuk menghasilkan biogas adalah 5 hingga 7,5.

b. Temperatur (T)

Proses *anaerobic digestion* biasanya beroperasi pada dua rentang suhu, yaitu suhu mesofilik (25–40°C) dan suhu termofilik (50–60°C). Penggunaan suhu di bawah kondisi mesofilik dapat menghambat proses pembentukan biogas sekaligus memungkinkan terjadinya penurunan terhadap hasil (*yield*) akhir biogas. Aktivitas bakteri maksimum terjadi pada kisaran temperatur 35°C hingga 55°C, apabila temperatur diatas kondisi maksimum, maka aktivitas bakteri turun dengan cepat sehingga bakteri sama sekali tidak beraktifitas dengan dalam produksi asam asetat dan pertumbuhannya. Oleh sebab itu, suhu operasi harus dikontrol dengan konstan pada kisaran suhu mesofilik. Pabrik biogas umumnya menggunakan kisaran suhu mesofilik dikarenakan pengoperasiaanya lebih mudah.

Metana dapat dihasilkan pada temperature rendah, tetapi produksi yang optimal membutuhkan suhu di dalam digester di atas 20°C. Suhu optimal adalah 35°C. Ketika suhu lingkungan turun hingga mencapai 10 °C, maka

produksi gas hampir tidak berjalan. Meski demikian, dalam hal efisiensi energi dan ekonomi, hasil ini tidak menyiratkan bahwa suhu pencernaan yang lebih tinggi berarti proses yang dihasilkan lebih optimal, karena suhu operasi yang tinggi membutuhkan lebih banyak energi untuk mencapai dan mempertahankan sesuai produksi yang diinginkan.

c. Kelarutan Gas

Pada proses *anaerobic digestion*, gas dihasilkan dalam fase cair dan akan melepas ke udara. Transisi fase cair ke gas sangat penting dalam penguraian anaerobik. Transfer fase cair ke gas ini akan dibatasi oleh faktor desain proses seperti area antarmuka cairan dan gas, kecepatan pengadukan, dan suhu cairan, yang semuanya mempengaruhi viskositas dan tegangan permukaan. Biasanya, laju pembentukan gas melebihi laju konversi cairan ke gas, sehingga menghasilkan konsentrasi gas yang tinggi dalam cairan. Kelebihan konsentrasi dari beberapa gas, seperti (CO_2) dan (H_2S), dapat menurunkan pH dan mengganggu proses biologis.

d. Nutrisi

Proses biodegradasi yang efisien (mikronutrisi) memerlukan nitrogen, fosfor, dan unsur-unsur lainnya dalam jumlah cukup sebagai nutrisi. Nutrisi membentuk sel yang dapat membentuk mikroorganisme dan menghasilkan metana. Unsur kimia yang membentuk mikroorganisme diantaranya adalah karbon (50%), oksigen (20%), nitrogen (12%), hidrogen (8%), fosfor (2%), sulfur (1%), dan kalium (1%). POME biasanya mengandung nitrogen dan

fosfor dalam jumlah yang cukup. Rasio karbon terhadap nitrogen yang dibutuhkan dalam proses pembuatan biogas adalah sebesar 25:1 hingga 30:1, dan kandungan bahan kering sebesar 7-10%. Rasio C/N yang optimal untuk menghasilkan biogas adalah 25-30. Jika ada kelebihan karbon, nitrogen akan terlebih dahulu habis. Hal ini menyebabkan proses berlanjut secara perlahan, tetapi jika ada terlalu banyak nitrogen, karbon akan habis terlebih dahulu, dan proses fermentasi berhenti (Chulalaksananukul dkk., 2012).

Bakteri anaerob memiliki kebutuhan nutrisi yang lebih rendah daripada bakteri aerob karena laju pertumbuhannya yang lebih lambat. Proses pembuatan biogas harus menjaga rasio COD: nitrogen: fosfor pada tingkat yang dapat diterima, sehingga operator harus memantau rasio tersebut dan melakukan modifikasi sesuai kebutuhan selama proses berlangsung. Untuk menyediakan nutrisi secara teratur, gunakan pompa dosis. Kadar mikronutrien seperti nikel dan kobalt harus dipertahankan selama proses berlangsung untuk memungkinkan terjadinya metanogenesis.

e. Pengadukan

Pengadukan bertujuan untuk menghomogenkan bahan baku untuk produksi biogas karena proses pencampuran tidak menghasilkan bahan yang tercampur dengan baik dan tersebar secara merata. Pengadukan dapat dilakukan sebelum atau sesudah memasuki bioreaktor. Proses pengadukan juga dirancang untuk memastikan bahwa semua mikroorganisme menerima asupan

nutrisi yang menyeluruh dan seimbang, serta produk metabolismenya dapat terpisah secara optimal.

Proses pengadukan sangat penting untuk menjaga lingkungan yang konsisten dan mengontrol nilai pH. Pengadukan yang tidak cukup dapat menyebabkan lingkungan mikro yang merugikan tidak berkembang. Pengadukan mendistribusikan larutan penyangga ke seluruh wilayah digester dan mencegah penumpukan produk metabolisme yang sangat pekat, yang dapat membatasi pertumbuhan bakteri metanogenik. Pengaduk mekanis biasanya digunakan untuk pengadukan, seperti pengadukan cairan dengan menambahkan POME melalui pipa distribusi atau menggunakan biogas yang disirkulasi ulang (Winrock International 2015).

1.3.8 Manfaat Biogas

a. Sumber energi terbarukan

Gas yang terbentuk dalam produksi biogas adalah metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan kandungan gas lainnya dengan komposisi yang kecil sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan untuk berbagai keperluan rumah tangga seperti menghasilkan listrik, memasak, atau kebutuhan bahan bakar untuk menggerakkan mesin. Bahan baku pada produksi biogas adalah bahan organik yang dapat diperbaharui sehingga biogas dianggap sebagai alternatif energi terbarukan yang ramah lingkungan

sekaligus membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang sudah terbatas.

b. Mengurangi efek rumah kaca

Biogas dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dengan mengurangi emisi gas karbondioksida (CO_2) yang disebabkan oleh pembakaran kayu bakar. Penggunaan kayu bakar untuk memasak mengeluarkan gas (CO_2), yang dapat membahayakan lingkungan, serta asap dari pembakaran yang tidak sempurna dapat berdampak pada kesehatan paru-paru. Selain itu, penggunaan biogas sebagai pengganti kayu bakar dapat melindungi hutan dari kerusakan dan menjamin kelestarian hutan

Penggunaan biogas dapat menurunkan emisi gas (CO_2) sebesar 465,5 kg (CO_2) per-tahun dibandingkan dengan penggunaan LPG. Angka ini dihitung dengan menggunakan teknik pengurangan emisi yang telah disepakati dalam mekanisme kerja pembangunan bersih, seperti yang ditetapkan dalam *United Nations Frameworks Convention on Climate Change* (UNFCCC).

1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

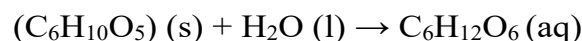
Pemodelan termodinamika dan kinetika merupakan pendekatan efektif yang digunakan untuk mengoperasikan sistem *anaerobic digestion* dan menggambarkan parameter spesifik dari kinerja sistem seperti, bagaimana respon sistem ketika terjadi perubahan feed dan kondisi operasi lainnya.

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika digunakan untuk mengetahui reaksi berlangsung secara spontan atau tidak spontan, sifat reaksi (*eksotermis/endotermis*) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*). Pada termodinamika pembuatan biogas mengacu pada studi mengenai sifat dan proses termodinamika yang terlibat dalam produksi proses pencernaan anaerobic dan pemanfaatan biogas. Selama proses pencernaan *anaerobic* berlangsung, bahan organik dipecah oleh mikroorganisme tanpa adanya oksigen, menghasilkan biogas sebagai produk sampingan.

Untuk mengoptimalkan termodinamika produksi biogas, beberapa faktor harus dipertimbangkan, termasuk pemilihan bahan baku, parameter proses yang meliputi suhu, pH, dan waktu retensi. Dari 4 tahap pembentukan *anaerobic digestion* didapatkan reaksi kimia sebagai berikut:

a. Reaksi Hidrolisis



Entalpi

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_r &= \sum \Delta H^\circ_f (\text{produk}) - \sum \Delta H^\circ_f (\text{reaktan}) \\ &= \Delta H^\circ_f (\text{produk}) - \Delta H^\circ_f (\text{reaktan}) \\ &= (\Delta H^\circ_f) (C_6H_{12}O_6)) - (\Delta H^\circ_f) (C_5H_{10}O_5)) \\ &\quad + (\Delta H^\circ_f) (H_2O)) \\ &= [(-1265,2)] - [(0) + (-241,8)] \text{ (kJ/mol)} \\ \Delta H^\circ_r &= -1023,4 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Energi Gibbs

Tabel 1. 4 Harga ΔG°_f komponen

Komponen	ΔG°_f , kJ/mol
$C_6H_{10}O_5$	0
$C_6H_{12}O_6$	-820,7
H_2O	-228,60

(Perry, 2008)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_r &= \sum \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \sum \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
 &= \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
 &= (\Delta G^\circ_f) (C_6H_{12}O_6) - (\Delta G^\circ_f) (C_6H_{10}O_5) \\
 &\quad + (\Delta G^\circ_f) (H_2O) \\
 &= [(-820,7)] - [(0) + (-228,60)] \text{ (kJ/mol)} \\
 \Delta G^\circ_r &= -592,100 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan konstanta kesetimbangan reaksi (K_1) pada biogas pada tahap reaksi hidrolisis pada suhu 298 K:

Dari Smith Van Ness (2005), persamaan (13.11b):

$$\Delta G^\circ_f = -RT \ln K$$

Konstanta Kesetimbangan (K) pada keadaan standar :

$$\begin{aligned}
 \ln K_{298} &= -\frac{\Delta G^\circ_f}{RT} \\
 &= \frac{-(-592,1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}})}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}} \\
 &= 238,9840
 \end{aligned}$$

$$K_{1(298)} = 6,15 \times 10^{103}$$

Konstanta Keseimbangan (K) pada T = 35 °C :

$$\ln K_{308} = \frac{-\left(\frac{-592,1 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}\right)}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 308 \text{ K}}$$

$$= 231,2247$$

$$K_{2(308)} = 2,62 \times 10^{100}$$

Dimana :

K1 : Konstanta keseimbangan pada 298 K

K2 : Konstantan keseimbangan pada 308 K

T1 : Suhu standar (25 °C = 298 K)

T2 : Suhu operasi (35 °C = 308 K)

R : Tetapan gas ideal = 8,314 J/mol.K

b. Reaksi Asidogenesis



(Pembentukan Etanol)

Entalpi

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_r &= \sum \Delta H^\circ_f (\text{produk}) - \sum \Delta H^\circ_f (\text{reaktan}) \\ &= \Delta H^\circ_f (\text{produk}) - \Delta H^\circ_f (\text{reaktan}) \\ &= (\Delta H^\circ_f) 2(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + (\Delta H^\circ_f) 2(\text{CO}_2) \\ &\quad - (\Delta H^\circ_f) (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \\ &= [2(-234,81) + 2(-393,5)] - [(-1265,2)] (\text{kJ/mol}) \\ \Delta H^\circ_r &= 8,56 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Energi Gibbs

Tabel 1. 5 Harga ΔG°_f komponen

Komponen	ΔG°_f , kJ/mol
C ₂ H ₅ OH	-168,28
C ₆ H ₁₂ O ₆	-820,7
CO ₂	-394,38

(Perry, 2008)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_r &= \sum \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \sum \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
 &= \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
 &= (\Delta G^\circ_f) 2(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + (\Delta G^\circ_f) 2(\text{CO}_2) \\
 &\quad - (\Delta G^\circ_f) (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \\
 &= [2(-168,28) + 2(-394,38)] - [(-820,7)] \text{ (kJ/mol)} \\
 \Delta G^\circ_r &= -304,62 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta G^\circ_r &= -304620 \text{ J/mol}
 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan konstanta kesetimbangan reaksi (K_1) pada biogas pada tahap reaksi asidogenesis pembentukan etanol pada suhu 298 K:

Dari Smith Van Ness (2005), persamaan (13.11b):

$$\Delta G^\circ_f = -RT \ln K$$

Konstanta Kesetimbangan (K) pada keadaan standar :

$$\begin{aligned}
 \ln K_{298} &= -\frac{\Delta G^\circ_f}{RT} \\
 &= \frac{-(-\frac{304,62 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}})}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}} \\
 &= 122,9510
 \end{aligned}$$

$$K_{1(298)} = 2,49 \times 10^{53}$$

Konstanta Kesetimbangan (K) pada T = 35 °C :

$$\ln K_{308} = \frac{-\left(-\frac{304,62 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}\right)}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 308 \text{ K}}$$

$$= 118,959102$$

$$K_{2(308)} = 4,61 \times 10^{51}$$



(Pembentukan Asam Propionat)

Entalpi

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_r &= \sum \Delta H^\circ_f(\text{produk}) - \sum \Delta H^\circ_f(\text{reaktan}) \\ &= \Delta H^\circ_f(\text{produk}) - \Delta H^\circ_f(\text{reaktan}) \\ &= (\Delta H^\circ_f) 2(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) + (\Delta H^\circ_f) 2(\text{H}_2\text{O}) \\ &\quad - (\Delta H^\circ_f) (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + (\Delta H^\circ_f) 2(\text{H}_2) \\ &= [2(-453,5) + 2(-241,8)] - [(1265,2) + 2(0)] \text{ (kJ/mol)} \\ \Delta H^\circ_r &= -125,4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Energi Gibbs

Tabel 1. 6 Harga ΔG°_f komponen

Komponen	ΔG°_f , kJ/mol
CH ₃ CH ₂ COOH	-366,7
C ₆ H ₁₂ O ₆	-820,7
H ₂ O	-228,60
H ₂	0

(Yaws, 2008)

$$\begin{aligned}
\Delta G^\circ_r &= \sum \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \sum \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
&= \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
&= (\Delta G^\circ_f)_2(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) + (\Delta G^\circ_f)_2(\text{H}_2\text{O}) \\
&\quad - (\Delta G^\circ_f)(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + (\Delta H^\circ_f)(\text{H}_2) \\
&= [2(-366,7) + 2(-228,60)] - [(820,7) + 2(0)] \text{ (kJ/mol)} \\
\Delta G^\circ_r &= -369,9 \text{ kJ/mol} \\
\Delta G^\circ_r &= -369900 \text{ J/mol}
\end{aligned}$$

Berikut perhitungan konstanta kesetimbangan reaksi (K_1) pada biogas pada tahap reaksi asidogenesis pembentukan asam propinat pada suhu 298 K. Dari Smith Van Ness (2005), persamaan (13.11b):

$$\Delta G^\circ_f = -RT \ln K$$

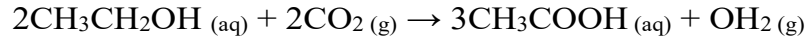
Konstanta Kesetimbangan (K) pada keadaan standar :

$$\begin{aligned}
\ln K_{298} &= -\frac{\Delta G^\circ_f}{RT} \\
&= \frac{-(-\frac{369,9 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}})}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}} \\
&= 149,2994 \\
K_{1(298)} &= 6,91 \times 10^{64}
\end{aligned}$$

Konstanta Kesetimbangan (K) pada $T = 35^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned}
\ln K_{308} &= \frac{-(-\frac{369,9 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}})}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 308 \text{ K}} \\
&= 144,4520118 \\
K_{2(308)} &= 5,43 \times 10^{62}
\end{aligned}$$

c. Reaksi Asetogenesis



(Pembentukan Asam Asetat dari Etanol)

Entalpi

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_r &= \sum \Delta H^\circ_f(\text{produk}) - \sum \Delta H^\circ_f(\text{reaktan}) \\ &= \Delta H^\circ_f(\text{produk}) - \Delta H^\circ_f(\text{reaktan}) \\ &= (\Delta H^\circ_f) 3(\text{CH}_3\text{COOH}) + (\Delta H^\circ_f) 0(\text{H}_2) \\ &\quad - (\Delta H^\circ_f) 2(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) + (\Delta H^\circ_f) 2(\text{CO}_2) \\ &= [3(-434,84) + 0(0)] - [2(-234,81) + (2(-393,51))] \\ &\quad (\text{kJ/mol})\end{aligned}$$

$$\Delta H^\circ_r = -47,88 \text{ kJ/mol}$$

Energi Gibbs

Tabel 1. 7 Harga ΔG°_f komponen

Komponen	ΔG°_f , kJ/mol
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	-168,28
CO_2	-394,38
H_2	0

(Perry, 2008)

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_r &= \sum \Delta G^\circ_f(\text{produk}) - \sum \Delta G^\circ_f(\text{reaktan}) \\ &= \Delta G^\circ_f(\text{produk}) - \Delta G^\circ_f(\text{reaktan}) \\ &= (\Delta G^\circ_f) 3(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) + (\Delta G^\circ_f) 0(\text{H}_2) \\ &\quad - (\Delta G^\circ_f) 2(\text{CH}_3\text{COOH}) + (\Delta G^\circ_f) 3(\text{CO}_3) \\ &= [3(-168,28) + 0(0)] - [2(-394,38)] (\text{kJ/mol})\end{aligned}$$

$$\Delta G^\circ_r = 1037,3 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_r = 1037300 \text{ J/mol}$$

Berikut perhitungan konstanta kesetimbangan reaksi (K_1) pada biogas pada tahap reaksi asetogenesis pembentukan asam asetat dari etanol pada suhu 298 K:

Dari Smith Van Ness (2005), persamaan (13.11b):

$$\Delta G^\circ_f = -RT \ln K$$

Konstanta Kesetimbangan (K) pada keadaan standar :

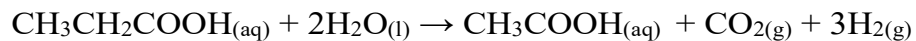
$$\begin{aligned} \ln K_{298} &= -\frac{\Delta G^\circ_f}{RT} \\ &= \frac{-\left(\frac{1037,3 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}\right)}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}} \\ &= -418,6760 \end{aligned}$$

$$K_{1(298)} = 0$$

Konstanta Kesetimbangan (K) pada $T = 35^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \ln K_{308} &= \frac{-\left(\frac{1037,3 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}\right)}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 308 \text{ K}} \\ &= -405,0826489 \end{aligned}$$

$$K_{2(308)} = 0$$



(Pembentukan Asam Asetat dari Asam Propinat)

Entalpi

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_r &= \sum \Delta H^\circ_f (\text{produk}) - \sum \Delta H^\circ_f (\text{reaktan}) \\ &= \Delta H^\circ_f (\text{produk}) - \Delta H^\circ_f (\text{reaktan}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (\Delta H^\circ_f) (\text{CH}_3\text{COOH}) + (\Delta H^\circ_f) (\text{CO}_2) + (\Delta H^\circ_f) \\
&\quad 3(\text{H}_2)) - (\Delta H^\circ_f) (\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) + (\Delta H^\circ_f) 2(\text{H}_2\text{O})) \\
&= [(-434,84) + (-393,51) + 3(0)] - [(-453,5) \\
&\quad + (2(-241,8))] \text{ (kJ/mol)} \\
\Delta H^\circ_r &= 108,75 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Energi Gibbs

Tabel 1. 8 Harga ΔG°_f komponen

Komponen	ΔG°_f , kJ/mol
CH ₃ COOH	-379,69
CO ₂	-394,38
H ₂ O	-228,60
H ₂	0
CH ₃ CH ₂ COOH	-366,7

(Perry, 2008)

$$\begin{aligned}
\Delta G^\circ_r &= \sum \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \sum \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
&= \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
&= (\Delta G^\circ_f) (\text{CH}_3\text{COOH}) + (\Delta G^\circ_f) (\text{CO}_2) + (\Delta G^\circ_f) \\
&\quad 3(\text{H}_2)) - (\Delta G^\circ_f) (\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) + (\Delta G^\circ_f) 2(\text{H}_2\text{O})) \\
&= [3(-376,69) + (-394,38) + 3(0)] - [(-366,7) \\
&\quad + 2(-288,60)] \text{ (kJ/mol)} \\
\Delta G^\circ_r &= 52,83 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Berikut perhitungan konstanta kesetimbangan reaksi (K_1) pada biogas pada tahap reaksi asetogenesis pembentukan asam asetat dari asam propinat pada suhu 298 K:

Dari Smith Van Ness (2005), persamaan (13.11b):

$$\Delta G^\circ_f = -RT \ln K$$

Konstanta Keseimbangan (K) pada keadaan standar :

$$\begin{aligned} \ln K_{298} &= -\frac{\Delta G^\circ_f}{RT} \\ &= \frac{-\left(\frac{52,83 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}\right)}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}} \\ &= -21,3233 \end{aligned}$$

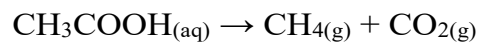
$$K_{1(298)} = 0$$

Konstanta Keseimbangan (K) pada T = 35 °C :

$$\begin{aligned} \ln K_{308} &= \frac{-\left(\frac{52,83 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}\right)}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 308 \text{ K}} \\ &= -20,63098076 \end{aligned}$$

$$K_{2(308)} = 0$$

d. Reaksi Metanogenesis



Entalpi

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_r &= \sum \Delta H^\circ_f (\text{produk}) - \sum \Delta H^\circ_f (\text{reaktan}) \\ &= \Delta H^\circ_f (\text{produk}) - \Delta H^\circ_f (\text{reaktan}) \\ &= (\Delta H^\circ_f) (\text{CH}_4) + (\Delta H^\circ_f) (\text{CO}_2) + (\Delta H^\circ_f) (\text{CH}_3\text{COOH}) \\ &= [(-74,85) + (-393,51) - (-434,84)] (\text{kJ/mol}) \\ \Delta H^\circ_r &= -33,52 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Energi Gibbs

Tabel 1. 9 Harga ΔG°_f komponen

Komponen	ΔG°_f , kJ/mol
CH ₃ COOH	-379,69
CO ₂	-394,38
CH ₄	-50,84

(Perry, 2008)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_r &= \sum \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \sum \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
 &= \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \Delta G^\circ_f (\text{reaktan}) \\
 &= (\Delta G^\circ_f) (\text{CH}_4) + (\Delta G^\circ_f) (\text{CO}_2) + (\Delta G^\circ_f) \\
 &\quad (\text{CH}_3\text{COOH}) \\
 &= [(-50,84) + (-394,38)] - [(-376,69)] \text{ (kJ/mol)} \\
 \Delta G^\circ_r &= -68530 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan konstanta kesetimbangan reaksi (K_1) pada biogas pada tahap reaksi asetogenesis pembentukan asam asetat dari asam propinat pada suhu 298 K:

Dari Smith Van Ness (2005), persamaan (13.11b):

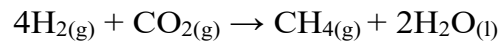
$$\Delta G^\circ_f = -RT \ln K$$

Konstanta Kesetimbangan (K) pada keadaan standar :

$$\begin{aligned}
 \ln K_{298} &= -\frac{\Delta G^\circ_f}{RT} \\
 &= \frac{-(-\frac{68,53 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}})}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}} \\
 &= 27,660127 \\
 K_{1(298)} &= 1,02 \times 10^{12}
 \end{aligned}$$

Konstanta Keseimbangan (K) pada T = 35 °C :

$$\begin{aligned}\ln K_{308} &= \frac{-\left(-\frac{68,53 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}\right)}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 308 \text{ K}} \\ &= 26,76208804 \\ K_{2(308)} &= 4,19 \times 10^{11}\end{aligned}$$



Entalpi

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_{\text{r}} &= \sum \Delta H^\circ_{\text{f}}(\text{produk}) - \sum \Delta H^\circ_{\text{f}}(\text{reaktan}) \\ &= \Delta H^\circ_{\text{f}}(\text{produk}) - \Delta H^\circ_{\text{f}}(\text{reaktan}) \\ &= (\Delta H^\circ_{\text{f}})(\text{CH}_4) + (\Delta H^\circ_{\text{f}}) 2(\text{H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_{\text{f}}) 4(\text{H}_2) \\ &\quad + (\Delta H^\circ_{\text{f}})(\text{CO}_2)) \\ &= [(-74,85) + 2(-241,8) - [4(0) + (-393,51)]] \text{ (kJ/mol)} \\ \Delta H^\circ_{\text{r}} &= -164,94 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Energi Gibbs

Tabel 1. 10 Harga $\Delta G^\circ_{\text{f}}$ komponen

Komponen	$\Delta G^\circ_{\text{f}}$, kJ/mol
H ₂	0
CO ₂	-394,38
CH ₄	-50,84
H ₂ O	-228,60

(Perry, 2008)

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_{\text{r}} &= \sum \Delta G^\circ_{\text{f}}(\text{produk}) - \sum \Delta G^\circ_{\text{f}}(\text{reaktan}) \\ &= \Delta G^\circ_{\text{f}}(\text{produk}) - \Delta G^\circ_{\text{f}}(\text{reaktan}) \\ &= (\Delta G^\circ_{\text{f}})(\text{CH}_4) + (\Delta G^\circ_{\text{f}}) 2(\text{H}_2\text{O}) - (\Delta G^\circ_{\text{f}}) 4(\text{H}_2) \\ &\quad + (\Delta G^\circ_{\text{f}})(\text{CO}_2))\end{aligned}$$

$$= [(-50,84) + 2(-228,60)] - [4(0) + (-394,39)]$$

$$(\text{kJ/mol})$$

$$\Delta G^\circ_r = -113,66 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_r = -113660 \text{ J/mol}$$

Berikut perhitungan konstanta kesetimbangan reaksi (K_1) pada biogas pada tahap reaksi metanogenesis pada suhu 298 K:

Dari Smith Van Ness (2005), persamaan (13.11b):

$$\Delta G^\circ_f = -RT \ln K$$

Konstanta Kesetimbangan (K) pada keadaan standar :

$$\ln K_{298} = -\frac{\Delta G^\circ_f}{RT}$$

$$= \frac{-(-\frac{113,66 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}})}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}}$$

$$= 45,87555881$$

$$K_{1(298)} = 8,38 \times 10^{19}$$

Konstanta Kesetimbangan (K) pada $T = 35^\circ\text{C}$:

$$\ln K_{308} = \frac{-(-\frac{113,66 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}})}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 308 \text{ K}}$$

$$= 44,38609262$$

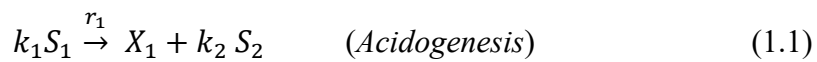
$$K_{2(308)} = 1,89 \times 10^{19}$$

Berdasarkan jumlah dari ΔH reaksi dari keseluruhan reaksi fermentasi anaerob didapatkan bahwa hasil yang terjadi pada proses ini yaitu secara endotermis dengan nilai ΔH reaksi sebesar 2.636.600.829 kJ/jam. Dari keseluruhan reaksi diperoleh nilai konstanta kesetimbangan (K) pada suhu

standar adalah $6,15 \times 10^{103}$, Sedangkan nilai K pada suhu 308 K adalah $2,62 \times 10^{100}$. Hal ini dapat dikatakan bahwa reaksi berlangsung secara *irreversible* (searah) karena nilai konstanta yang dihasilkan lebih besar dari 1 ($K > 1$).

1.4.2 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika dalam pembuatan biogas dari POME dapat diambil melalui pendekatan menggunakan model pencernaan anaerobik No.1 (ADM1). Model kinetik ini melibatkan dua reaksi biologis (asidogenesis dan metanogenesis) dengan dua kelompok mikroorganisme. Model sederhana ADM1 dari proses *anaerobic digestion*. Substrat organik (S_1 , dalam g COD/L) terdegradasi dalam VFAs (S_2 , dalam mmolVFA/L) oleh bakteri asidogenik (X_1 , dalam g COD/L); selanjutnya VFAs didegradasi menjadi metana (CH_4 , dalam L/day) oleh mikroorganisme metanogenik (X_2 , dalam gCOD/L). Model kinetik mengikuti dua reaksi biologis (persamaan (1) dan (2)):



Tinjauan kinetika dalam pembuatan biogas dari POME dapat diambil melalui pendekatan menggunakan model pencernaan anaerobik No.1 (ADM1). Model kinetik ini melibatkan dua reaksi biologis (asidogenesis dan metanogenesis) dengan dua kelompok mikroorganisme.

Dimana, k_1 ($g_{COD}S_1/g_{COD}X_1$), k_2 ($mmole_{VFA}/g_{COD}X_1$), k_3 ($mmole_{VFA}/g_{COD}X_2$), dan k_4 ($mmole_{CH_4}/g_{COD}X_2$) adalah koefisien stoikiometri

komponen reaksi. Sedangkan r_1 ($r_1 = \mu_1 X_1$) dan r_2 ($r_2 = \mu_2 X_2$) adalah laju pertumbuhan bakteri asidogenesis dan metanogenesis.

Model kinetika bakteri asidogenik diwakili oleh kinetika Monod (1.3) dan kinetika mikroorganisme metanogenik oleh kinetika Haldane (1.4). Yang terakhir digunakan untuk menekankan akumulasi VFA yang merupakan kondisi penghambatan reaksi metanogenik.

a) Kinetika mikroorganisme asidogenik

$$\mu_1 = \mu_{1max} \frac{S_1}{K_{S_1} + S_1} \quad (1.3)$$

Dimana,

μ_1 = laju pertumbuhan spesifik asidogenesis (d^{-1})

μ_{1max} = laju pertumbuhan bakteri asidogenik maksimum

K_{S_1} = konstanta half-saturation terkait substrat organik S_1

S_1 = *organic substrat* bakteri asidogenik

b) Kinetika mikroorganisme metanogenik

$$\mu_2 = \mu_{2max} \frac{S_2}{K_{S_2} + S_2 + S_2^2/K_I} \quad (1.4)$$

Dimana,

μ_2 = laju pertumbuhan spesifik metanogenesis (d^{-1})

μ_{2max} = laju pertumbuhan maksimum bakteri metanogenik

K_{S_2} = *konstanta half-saturation* terkait substrat organik S_2

K_I = konstanta penghambatan (*inhibition*) terkait VFA (S_2)

S_2 = *organic substrat* bakteri metanogenik

S_2^2 = konsentrasi masuk VFA

Produksi gas metana diasumsikan dari reaksi metanogenesis dengan laju aliran molar (q_M), persamaan (1.5). Telah diketahui bahwa gas metana merupakan produk kelarutan yang rendah, artinya semua metana terdapat dalam biogas yang dihasilkan dari penguraian bahan organik.

$$q_M = k_4 \mu_2 X_2 \quad (1.5)$$

Dimana

q_M = laju aliran metana

k_4 = koefisien stoikiometri komponen reaksi.

μ_2 = laju pertumbuhan spesifik metanogenesis (d^{-1})

X_2 = Kadar bakteri metanogenik

Tabel 1. 11 Koefisien stoikiometri dan parameter kinetik

Koefisien	Nilai	CV	Satuan
k_1	6.48	0.15	$g_{COD}S_1/g_{COD}X_1$
k_2	11.45	0.08	$mmole_{VFA}/g_{COD}X_1$
k_3	69.51	0.01	$mmole_{VFA}/g_{COD}X_2$
k_4	122.8	0.008	$mmole_{CH_4}/g_{COD}X_2$
μ_{1max}	1.92	0.50	d^{-1}
K_{S_1}	4.97	0.19	$g_{COD}S_1/L$

μ_{2max}	2.07	0.46	d^{-1}
K_{S_2}	40.8	0.02	$mmole_{VFA}/L$
K_I	1152	0.001	$mmole_{VFA}/L$

(CV adalah koefisien variasi yang dihitung dari output yang diberikna
dengan fungsi isqnonlin)

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

Untuk memenuhi kualitas produk sesuai target pada perancangan pabrik ini, maka mekanisme produksi listrik tenaga biogas dari limbah air kelapa sawit dirancang berdasarkan variabel utama yaitu : spesifikasi produk, spesifikasi bahan baku, dan pengendalian kualitas

2.1 Spesifikasi Produk

Tabel 2. 1 Spesifikasi Biogas

Parameter	Nilai
Densitas (kg/m^3)	1,2
Nilai Kalori (Heating Value)	4.800-6.900 kkal/ m^3 (24-28 MJ/ m^3)
Komposisi (% volume)	CH ₄ (55-70 %) CO ₂ (30-40 %) H ₂ S (0-0,5 %)
Viskositas (Cp)	0,90
Tekanan (atm)	1
Tekanan kritis (bar)	75 – 89
Suhu kritis (°C)	- 82,5
Flash point	- 104°C (- 155,2°F)
Autoignition temperature (°C)	537
Sifat	Tidak berbau dan berwarna

(Sumber : Yuwono et al., 2015)

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1 Spesifikasi Bahan Baku

Bahan baku utama adalah limbah *Palm Oil Mill Effluent (POME)* yang didapat dari pabrik kelapa sawit (PKS) Putera Bangka Tani di wilayah Belilik, Kecamatan Namang, Kabupaten Bangka Tengah, Kepulauan Bangka Belitung.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Bahan Baku Palm Oil Mill Effluent (POME)

Parameter	Nilai
Komposisi (% volume)	Protein (2-4 %) Karbohidrat (2-4 %) Lemak (0,6-0,7 %) Air (95-96 %)
Viskositas (Cp, at 25 atm)	1 – 5
Suhu (°C)	60 – 80
pH	3,3 – 4,6
BOD ₅ (Biological Oxygen Demand) (mg/L)	8.200 – 35.400
COD (Chemical Oxygen Demand) (mg/L)	15.103 – 65.100
TS (Total Solid) (mg/L)	16.580 – 94.106
TSS (Total Suspended Solid)(mg/L)	1.330 – 50.700
Total Nitrogen (TN) (mg/L)	180 – 1400
Minyak dan Lemak (mg/L)	190 – 14.720
Volatil Solids (mg/L)	34.000 – 49.300

(Sumber : Sodri & Septriana, 2022)

2.2.2 Spesifikasi Bahan Pendukung

Tabel 2. 3 Spesifikasi Bahan Pendukung Kalsium Oksida (CaO)

Parameter	Nilai
Fungsi	Sebagai <i>alkali treatment</i> untuk menetralkan pH POME
Bentuk & warna	Serbuk putih
Berat Molekul (g/mol)	58,08
Densitas (g/cm ³)	3,34 (at 20°C, 1 atm)
Viskositas (cP)	2,78 (at 30°C)
Titik didih (°C)	2,850
Titik lebur (°C)	2,570
Tekanan uap (atm)	Pada 20°C tidak berlaku
Kemurnian (% Berat)	71,47% Ca; 28,53% O

(Sumber : Calcium Oxide MSDS)

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas atau *Quality Control* (QC) adalah suatu usaha untuk mempertahankan dan meningkatkan kualitas dari produk yang akan dihasilkan, agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan. Pada pra-rancangan pabrik pembangkit listrik tenaga biogas ini, terdapat beberapa pengendalian, meliputi pengendalian kualitas bahan baku, pengendalian kualitas proses, dan pengendalian kualitas produk. Pengendalian kualitas atau *Quality Control* (QC) dapat dilakukan dengan analisa di laboratorium maupun menggunakan alat kontrol.

2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku bertujuan untuk mengetahui kualitas bahan baku yang digunakan sebelum dilakukan proses produksi agar dapat memastikan bahan baku yang digunakan sudah sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan. Dalam sistem produksi, pengendalian kualitas pada input sama dengan pengendalian kualitas bahan baku yang digunakan selama proses produksi. Penggunaan bahan baku merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses produksi, dan kualitas produk yang dihasilkan. Sehingga sebelum produksi dimulai, kualitas bahan baku perlu diuji. Pengujian dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Evaluasi yang akan digunakan adalah berdasarkan standar yang telah dibuat. Adapun parameter yang diukur yaitu :

a) *Quality Control (QC) Bahan Baku secara Kualitatif*

Pada limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) banyak mengandung partikel padat yang dapat menyumbat sistem digester. Dalam proses penyaringan dan pemisahan padatan pada limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) bertujuan untuk mengurangi ukuran partikel serta menghilangkan bahan padat berukuran besar. Jumlah padatan yang tersuspensi dan terlarut dapat dianalisis menggunakan metode *Total Suspended Solids* (TSS) atau metode gravimetri yang bertujuan untuk memastikan ada tidaknya penyumbatan dalam sistem produksi dan menyatakan bahwa *substract* telah homogen.

b) *Quality Control (QC) Bahan Baku secara Kuantitatif*

Pada analisis kimia pada limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dilakukan

untuk menentukan komposisi kandungan limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME), khususnya kandungan bahan organik seperti kadar minyak, kadar lemak, dan kadar padatan yang terlarut. Parameter pemeriksaan yang diukur adalah nilai kandungan karakteristik *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), sulfat, dan konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) yang bertujuan untuk memastikan ada tidaknya potensi biogas secara optimal yang dilakukan di laboratorium pabrik. Pada nilai kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dapat menggunakan alat BOD meter yang berfungsi untuk mengukur jumlah kadar oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba dalam menguraikan bahan organik dalam air. Selanjutnya untuk nilai kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solids* (TSS) dapat digunakan alat spektrofotometer. Alasan menggunakan alat spektrofotometer adalah karena alatnya ringan, pengoperasian pada alatnya mudah, dan hasil tes yang dihasilkan dapat dijadikan andalan.

Permulaan proses fermentasi pada anaerobik menggunakan metode inokulasi dengan mikroorganisme dinilai sangat efektif, dikarenakan mikroorganisme metanogenik memiliki peran utama dalam produksi gas metana (CH_4). Dalam pemeliharaan populasi mikroba, hal yang dilakukan adalah dengan memastikan kondisi lingkungan sekitar apakah sudah optimal dan stabil atau tidak dengan meliputi parameter seperti pH, suhu, dan nutrisi. Aktivitas mikroba dapat dipantau melalui alat parameter seperti produksi gas, komposisi gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2), dan konsentrasi *Volatile Fatty Acid* (VFAs). Kadar VFAs

yang tinggi dapat mengindikasikan masalah dalam proses fermentasi, seperti akumulasi asam yang dapat menurunkan pH dan menghambat aktivitas metanogenik.

Parameter lain yang diukur pada limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) adalah kadar air, kemurnian, dan pH. Pengukuran pH dilakukan secara rutin menggunakan alat pH meter. pH POME harus berada dalam rentang optimal, yaitu antara 3,3 – 4,6 dikarenakan untuk mendukung aktivitas mikroba dalam proses fermentasi. Apabila pH tidak sesuai dapat dilakukan dengan menambahkan senyawa Kalsium Oksida (CaO) sesuai kebutuhan. Suhu dan pH langsung diukur saat pengambilan sampel dengan menggunakan alat temperatur dan pH meter portabel.

2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses

Pengendalian dan pengawasan terhadap proses produksi dilakukan dengan memantau segala hal yang terjadi dalam proses – proses yang berjalan di suatu pabrik. Pengendalian kualitas proses terdiri dari aliran dan alat – alat yang berfungsi sebagai sistem yang berpusat di *control room*, dengan fitur otomatis yang menjaga semua proses berjalan dengan baik dan kualitas produk dapat diseragamkan. Beberapa alat kontrol yang dijalankan yaitu, kontrol terhadap kondisi operasi baik tekanan maupun suhu. Alat kontrol yang harus diatur pada kondisi tertentu antara lain :

a) *Level Controller*

Suatu alat kontrol yang dipasang pada bagian dinding tangki berfungsi sebagai pengendalian volume cairan tangki / vessel. Dalam proses pengolahan biogas ini menggunakan beberapa bahan baku yang berfasa cairan, maka diperlukannya suatu alat control kendali volume berupa *level control*. Hal ini bertujuan untuk mencegah kelebihan bahan baku & pendukung yang masuk dalam reaktor dan mencegah kelebihan kapasitas pada alat proses.

b) *Flow Rate Controller*

Suatu alat kontrol yang dipasang untuk mengatur aliran, baik itu aliran masuk maupun aliran keluar proses yang ditempatkan pada aliran bahan baku. *Flow control* dipasang / diset pada parameter tertentu, apabila mengalami penyimpangan dari parameter yang diatur, maka akan memberikan perintah untuk mengembalikan pada parameter semula.

c) *Temperature Controller*

Suatu alat yang mempunyai *set point* / batasan nilai suhu yang dapat diatur. Ketika nilai suhu aktual yang diukur melebihi set pointnya maka outputnya akan bekerja. Selain itu, pengendalian waktu produksi juga dibutuhkan untuk mengefisienkan waktu yang digunakan selama proses produksi berlangsung. Dalam proses pengolahan biogas biasanya banyak terjadi perubahan suhu, maka *temperature control* sangat diperlukan. Apabila terjadi penyimpangan pada suhu yang sudah diatur, maka temperature control akan mengatur secara otomatis dengan suhu yang diinginkan.

d) Pressure Controller

Suatu alat kontrol yang dipasang untuk mengatur tekanan agar tidak berubah. Apabila terjadi penyimpangan dalam perubahan tekanan, maka *pressure control* akan mengembalikan pada parameter *set point* semula yang sudah disesuaikan.

Adapun pada tahap pengendalian kualitas proses ini ada beberapa hal yang menjadi fokus utamanya, diantaranya sebagai berikut:

1. Suhu

Suhu adalah faktor kritis dalam proses fermentasi sistem anaerobik di dalam digester anaerobik sehingga harus dipantau secara terus-menerus. Terdapat dua rentang suhu utama yaitu mesofilik (30 – 40°C). Pemilihan rentang suhu yang tepat bergantung pada jenis mikroorganisme yang digunakan. Suhu harus dipantau dan dikendalikan secara konsisten untuk menghindari fluktuasi yang dapat mengganggu aktivitas mikroba. Sistem pemanas atau pendingin yang digunakan adalah alat pemanas eksternal atau sistem pemanas dalam tangki yang berfungsi untuk menjaga suhu dalam rentang optimal.

2. Waktu Retensi Hidraulik

Waktu retensi hidrolik (HRT) adalah waktu rata-rata yang dihabiskan oleh bahan baku di dalam digester. Waktu retensi hidrolik yang optimal untuk fermentasi limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) biasanya berkisar antara 15 hingga 30 hari. Waktu retensi yang terlalu pendek tidak memberikan cukup waktu bagi mikroba untuk memecah bahan organik,

sementara waktu retensi yang terlalu panjang dapat mengurangi efisiensi proses fermentasi yang berlangsung. Waktu retensi harus dioptimalkan untuk memastikan proses fermentasi yang maksimal. Hal ini mungkin melibatkan penyesuaian laju aliran masuk atau volume pada digester.

3. Pengadukan

Pengadukan diperlukan untuk menjaga homogenitas campuran dan mencegah pembentukan lapisan seperti pengendapan yang dapat menghambat proses fermentasi pada digester. Pengadukan yang efektif membantu menjaga distribusi mikroba dan substrat secara merata di dalam digester, serta mencegah pengendapan padatan. Kecepatan pengadukan harus diatur sedemikian rupa agar tidak merusak mikroba dan struktur pada digester. Sistem pengadukan yang digunakan menggunakan metode sistem sirkulasi gas yang diawasi secara rutin untuk memastikan berfungsi dengan baik dan tidak menyebabkan kerusakan mekanis pada digester.

4. Optimasi Proses

Sistem digester dan penyimpanan gas harus dipantau secara rutin untuk mencegah kebocoran. Penggunaan detektor gas dan pemeliharaan rutin sangat penting. Sistem pengendalian bau diterapkan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Ini bisa melibatkan penggunaan *biofilter* atau teknologi penyerapan bau lainnya. Melakukan pemeliharaan preventif pada peralatan dan sistem untuk mencegah gangguan operasional.

5. Tingkat Produksi

Pada tingkat produksi ini, output produk biogas dari fermentasi digester yang dikeluarkan harus bersifat optimal dan stabil. Hal ini sebagai parameter bahwa hasil output produk biogas yang diperoleh sudah sesuai dengan hasil output pada *design specification* yang telah ditetapkan.

6. Kualitas Produksi Akhir

Kualitas komposisi produk akhir yaitu biogas yang diperoleh harus terus-menerus dijaga sesuai standar kualitas yang sudah ditentukan.

7. Biaya

Dalam melakukan pengoperasian industri pabrik harus dijaga dalam parameter produksi yang minimum agar biaya yang telah dialokasikan dapat memenuhi kebutuhan – kebutuhan industri pabrik yang akan didirikan.

2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk

Untuk memperoleh mutu produk yang sesuai dengan standar *Material Safety Data Sheet* (MSDS) maka diperlukan bahan yang berkualitas. Setelah perencanaan produksi disusun dan proses produksi dijalankan, perlu adanya pengawasan & pengendalian kualitas produksi dan pengendalian terhadap proses yang ada dengan cara sistem kontrol sehingga didapatkan produk yang berkualitas dan dapat dipasarkan.

Dalam pengendalian produksi yang dilakukan guna menjaga kualitas produk yang dihasilkan dengan menggunakan parameter seperti pengujian kemurniaan pada

produk biogas serta komposisi kadar komponen yang terkandung dalam produk biogas apakah sudah sesuai dan layak untuk digunakan dan dimanfaatkan. Pelaksanaan proses produksi ini diharapkan dapat menghasilkan output produk biogas yang sudah sesuai dengan rencana serta waktu yang sesuai dengan alokasi jadwal yang sudah dibuat. Selain itu, penyusunan alokasi rencana produksi terdapat dua pertimbangan yaitu faktor internal dan faktor eksternal sebagai berikut:

a. Faktor Internal

Kemampuan industri pabrik yang akan dibangun. Dalam hal ini terdapat dua kemungkinan yang dihasilkan diantaranya apabila kemampuan pasar lebih besar daripada pabrik, maka rencana produksi dapat berjalan dengan maksimal, dan sebaliknya.

b. Faktor Eksternal

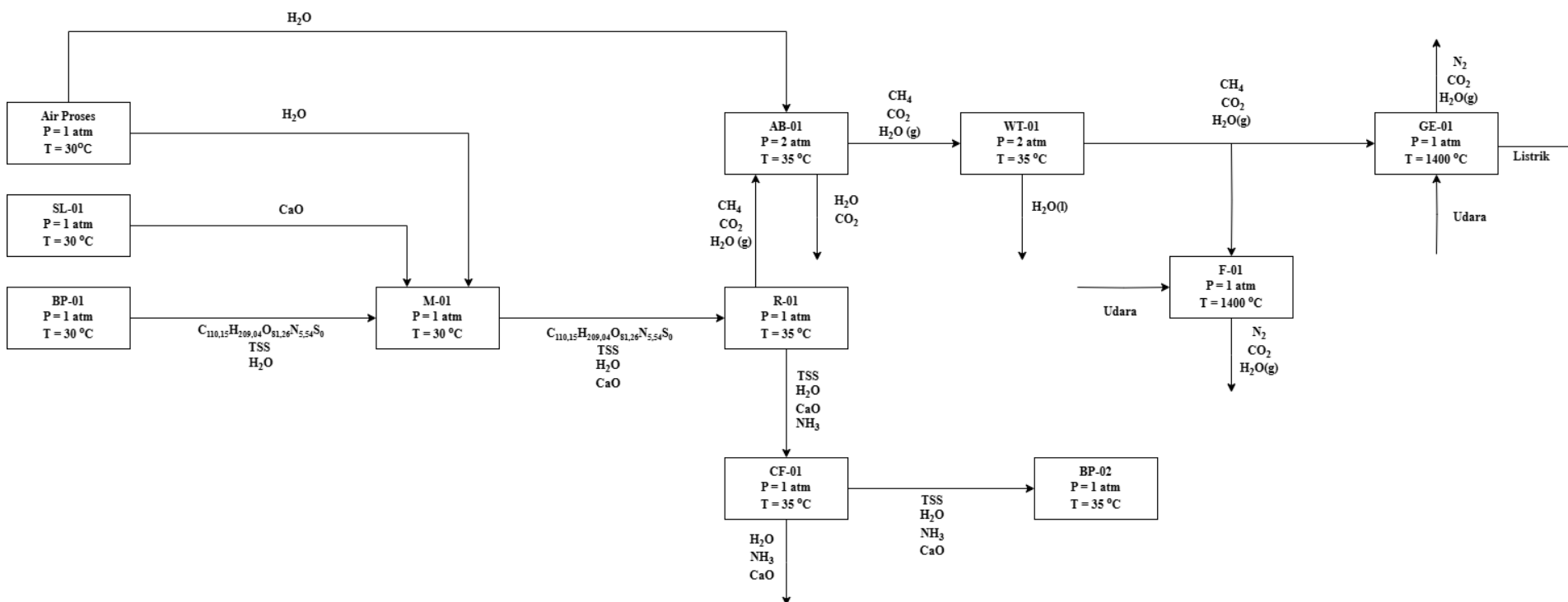
Kemampuan pasar terhadap jumlah produk yang akan dihasilkan. Dalam hal ini terdapat beberapa faktor yaitu penggunaan bahan baku yang digunakan harus memenuhi kuantitas dan kualitas karena akan mempengaruhi pencapaian target produksi yang diinginkan. Lalu faktor dari manusia sebagai tenaga kerja yang harus memenuhi standar keterampilan dalam bekerja yang baik karena akan mempengaruhi pada pabrik yang dibangun. Sehingga, diperlukan pelatihan bagi setiap tenaga kerja di pabrik tersebut yang memacu meningkatkan keterampilan dan cara berpikir ketika bekerja.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

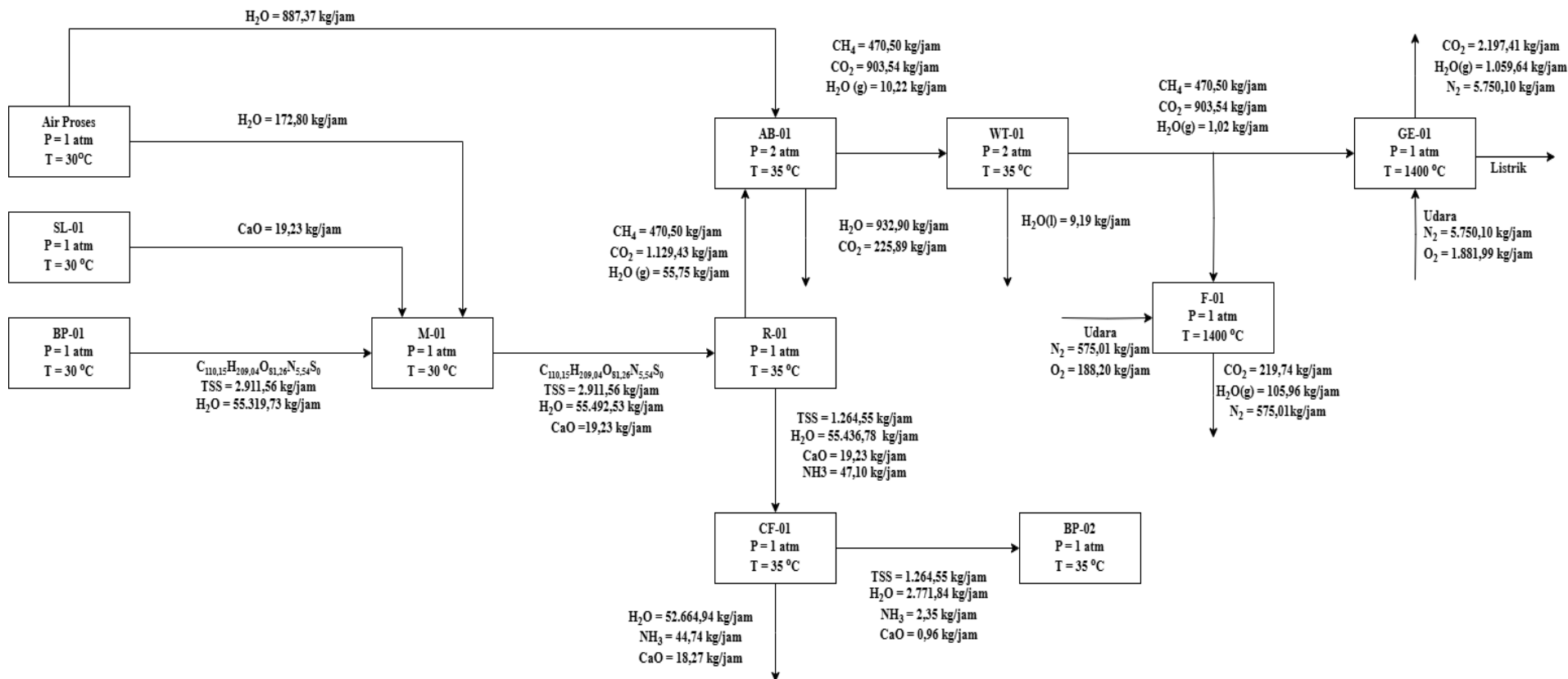
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3. 1 Diagram alir kualitatif

3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3. 2 Diagram alir kuantitatif

3.2 Uraian Proses

Bahan baku *Palm Oil Mill Effluent (POME)* atau limbah cair pengolahan kelapa sawit dari pabrik kelapa sawit (PKS) PT. Putera Bangka Tani di daerah Kurau, Provinsi Bangka Belitung diangkut dengan menggunakan truk pengangkut yang tertutup menuju tangki penyimpanan bahan baku limbah cair kelapa sawit (BP-01) untuk disimpan pada fase cair. Sistem pengumpulan bahan baku dilakukan dengan memanfaatkan limbah air kelapa sawit yang ada dipabrik serta membeli dari beberapa pabrik sekitar untuk memaksimalkan hasil produksi biogas dan setiap 7 hari sekali diambil menggunakan truk pabrik. Bahan pendukung seperti serbuk CaO disimpan di dalam tangki penyimpanan CaO (SL – 01) pada fasa padat.

Limbah air kelapa sawit dialirkan menggunakan *screw pump* (P-01) menuju tangki mixer (M-01). Alasan menggunakan alat *screw pump* karena limbah cair kelapa sawit memiliki viskositas tinggi sehingga alat angkut yang cocok digunakan yaitu *screw pump* / pompa ulir. Limbah air kelapa sawit akan dicampur dengan air (H₂O) dan bahan pendukung serbuk CaO yang berfungsi sebagai *alkali treatment* untuk menetralkan pH limbah cair kelapa sawit karena proses fermentasi akan berlangsung dengan baik pada parameter pH 6 – 8. Serbuk CaO akan diangkut menggunakan alat *screw conveyer* (SC-01). Sedangkan untuk Air (H₂O) menggunakan alat *centrifugal pump* (P – 02) yang digunakan sebagai pelarut selama proses dalam mixer pada limbah cair kelapa sawit. Alasan menggunakan *screw conveyer* yaitu karena CaO berbentuk padatan sehingga alat angkut yang pas digunakan yaitu *screw conveyer*. Semua bahan baku dan bahan

pendukung dimasukkan ke dalam *mixer* agar semua bahan dapat tercampur secara homogen.

Umpan dari mixer dimasukkan ke dalam *digester* atau reaktor biogas (R) dengan bantuan *screw pump* (P-03). Digester diasumsikan berada dalam kondisi *steady state*, karena penambahan inokulum selama proses fermentasi berlangsung yang digunakan sebagai bakteri. Penambahan inokulum dilakukan hanya sekali saja, karena bakteri secara alami akan berkembang biak dengan baik. Namun apabila hasil gas menurun, penambahan inokulum dapat dilakukan kembali. Umpan yang ada didalam reaktor akan mengalami proses *dark fermentation* dimana proses *anaerobic digestion* akan terjadi. Selama proses tersebut, tidak ada udara yang masuk maupun yang keluar dari reaktor sehingga reaktor harus dalam keadaan tertutup. Reaktor yang digunakan adalah jenis *covered lagoon reactor*, pemilihan didasarkan dengan kapasitas volume reaktor yang besar.

Kondisi operasi pada saat proses fermentasi berlangsung adalah kondisi mesofilik (diambil suhu 35°C) dengan rata-rata waktu tinggal *Hydraulic Retention Time* (HRT) selama 40 hari dan kontrol pH menjadi 7 agar bakteri penghasil metana (metanogenesis) dapat berkembang dan menghasilkan biogas. Umpan yang masuk ke dalam reaktor belum mencapai suhu yang diinginkan (suhu 35°C), maka dibutuhkan alat pemanas yang dialirkan udara gas panas dari alat gas engine, agar suhu dapat mencapai nilai yang diinginkan. Keadaan operasi direaktor bersifat endotermis. Pada reaktor akan terjadi beberapa tahapan proses fermentasi anaerobik, dimana pada tahapan awal akan terjadi proses hidrolisis yang akan medekomposisi bahan-bahan organik, tahapan asedogenesis dan asetogenesis

akan terjadi pembentukan asam, kemudian tahapan terakhir yaitu metanogenesis akan terjadi pembentukan metana oleh bakteri metanogen. Luaran dari reaktor harus dikontrol tekanan dan suhu yang tetap dengan menggunakan *temperature indicator control* dan *pressure control* sehingga reaksi melewati *range* suhu dan tekanan yang diinginkan.

Hasil *output* (luaran) dari reaktor bagian atas adalah gas metana (CH_4), H_2O , beserta gas pengotor yaitu CO_2 yang berfase gas. Sedangkan hasil luaran bagian bawah reaktor berupa residu yang berfase padatan. Karena perbedaan fase kedua *ouput* maka diperlukan pemisahan untuk masing-masing hasil atas dan bawah. Gas luaran reaktor dimasukkan ke dalam absorber (AB) dengan tujuan untuk memisahkan sebagian besar gas CO_2 yang akan mengganggu proses pembakaran dan menjadi penyebab rendahnya nilai kalor biogas. Untuk memperoleh hasil biogas yang lebih bagus, maka gas CO_2 harus dipisahkan. Alat absorber (AB) beroperasi pada tekanan 2 atm dan suhu 35 °C. Alat absorber yang banyak digunakan untuk absorpsi gas menggunakan cairan adalah *packed column*. Hal ini dikarenakan kontak gas dengan cairan pada *packed column* lebih besar. Pelarut (*solvent*) berupa air (H_2O) digunakan untuk proses pemisahan. Campuran gas yang keluar dari reaktor dialirkan menuju bagian bawah tangki absorber sedangkan bagian atas akan dialirkan larutan pelarut berupa air yang berfungsi untuk menyerap gas CO_2 dan berakhir menuju bagian bawah tangki absorber bersama dengan gas CO_2 . Tangki absorber dikontrol agar diperoleh nilai absorpsi gas CO_2 sebanyak 20%. Larutan air (H_2O) yang telah bercampur dengan gas buangan absorber kemudian diolah kembali agar dapat menuju bagian atas

absorber pada unit utilitas. Hasil atas absorber yang berupa gas memiliki temperatur 35 °C dan tekanan 2 atm.

Hasil gas luaran absorber (AB) akan dimasukkan ke dalam water trap (WT) agar kandungan air (H₂O) yang ikut terbawa dapat dihilangkan. Penghilangan kandungan air bertujuan agar nilai kalor biogas tidak berkurang. Hasil atas (output) dari water trap yang berupa biogas yang dapat diolah sebagai pembangkit listrik tenaga biogas sedangkan hasil luaran bawah water trap akan diolah di unit pengolahan limbah (UPL).

Setelah kandungan pengotor pada biogas diturunkan hingga kadar tertentu, maka biogas hasil luaran dari water trap akan dimasukkan ke dalam *gas engine* (GE-01) yang berfungsi untuk membakar biogas sehingga menghasilkan listrik. Energi yang terkandung didalam biogas dapat diubah oleh *gas engine* menjadi energi mekanik yang dapat menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik *gas engine* yang memanfaatkan biogas umumnya memerlukan biogas dengan konsentrasi H₂S dibawah 200 ppm dan kadar air kurang dari 80%. Untuk keamanan, pembangkit listrik tenaga biogas harus memasang flare (F-01) untuk membakar kelebihan biogas, karena kelebihan biogas dapat meningkatkan laju alir biogas melebihi batas maksimum input biogas ke dalam *gas engine*. Selain itu, apabila kelebihan biogas dilepas secara langsung ke lingkungan dapat mengakibatkan pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer karena sifatnya yang mudah terbakar pada konsentrasi tinggi sehingga dapat mencemari lingkungan.

Residu dari proses fermentasi didalam reaktor tidak dapat dibuang ke lingkungan begitu saja, karena dapat mencemari lingkungan sehingga diperlukan

suatu proses pengolahan untuk mengurangi bahaya polutan. Hasil luaran (output) dari reaktor terdiri dari padatan yang tidak terurai menjadi gas, serta substrat organik yang dapat diolah kembali. Amonia (NH_3) yang merupakan sumber nitrogen, keberadaannya di dalam sistem reaktor dapat menyebabkan keracunan pada mikroorganisme yang secara tidak langsung akan menurunkan konsentrasi total produksi gas metana, dan karena di dalam NH_3 terdapat kandungan air, maka fasa NH_3 di dalam reaktor berbentuk cair sehingga NH_3 ikut keluar dari bagian bawah reaktor. Oleh karena itu, residu output bawah reaktor akan lebih efisien jika digunakan sebagai pupuk organik padat. Dimana, sisa slurry tersebut dialirkan ke centrifuge (CF) menggunakan screw pump (P-04) agar dapat dipisahkan kandungan berupa padatan dan cairannya. Didalam centrifuge, slurry akan masuk dan berputar di nozzle dengan gaya sentrifugal, lalu padatan dan cairan dapat dipisahkan. Padatan akan ditampung di dalam bak penampungan pupuk (BP-02) sedangkan cairan yang mengandung sebagian besar air (H_2O) akan dimasukkan ke unit pengolahan limbah (UPL) agar dapat diolah kembali. Namun, karena kandungan ammonia (NH_3) berbahaya untuk lingkungan, maka diperlukan treatment khusus seperti penambahan bahan kimia berupa *calcium hypo chloride* yang disertai dengan aerasi untuk menghilangkan bahan organik berbahaya (ammoniak dan nitrit) serta dapat menghilangkan bakteri-bakteri patogen didalam air.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Reaktor (R-01)

Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor

REAKTOR	
Kode	R-01
Fungsi	Sebagai tempat berlangsungnya reaksi pembentukan biogas dari proses fermentasi
Jenis	<i>Covered Lagoon Reactor</i>
Mode operasi	Kontinyu
Jumlah	1
Kapasitas	66.059,34 m ³
Harga	Rp.
Kondisi Operasi	
Suhu	35 °C
Tekanan	1 atm
Kondisi Proses	<i>Isotermal</i>
Dimensi Kolom Reaktor	
Bahan konstruksi	Beton
Panjang reaktor	64,17 m
Tinggi reaktor	32,08 m
Lebar reaktor	32,08 m
Luas permukaan kolom	10.294,44 m ²
Bentuk reaktor	<i>Balok</i>
Dimensi Penutup Reaktor	
Bahan	HDPE
Lluas permukaan	13.382,77 m ²
Jumlah roll	54 roll
Luas lembaran rolld hdpe	407,62 /roll

3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah dan Unit Operasi Pendukung

a. Mixer (M-01)

Tabel 3. 2 Spesifikasi Mixer

MIXER	
Kode	M-01
Fungsi	Tempat pencampuran POME, Air, dan serbuk CaO sebagai umpan masuk
Jenis	Tangki berpengaduk
Jumlah	1 unit
Kapasitas	67,673 m ³
Harga	Rp
Kondisi Operasi	
Suhu	30 °C
Tekanan	1 atm
Konstruksi dan Material	
Bahan konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 grade 11 tipe 316</i>
Diameter (ID) shell	4,41 m
Tebal shell	0,3125 in
Tebal head	0,3750 in
Tinggi total	6,20 m
Jenis head	<i>Torispherical dished head</i>
Pengaduk	
Tipe pengaduk	<i>Flat six blade turbines</i>
Kecepatan pengadukan	247,641 rpm
Power/tenaga pengadukan	350 Hp
Jumlah baffle	4

b. Absorber (AB-01)

Tabel 3. 3 Spesifikasi Absorber

ABSORBER	
Kode	AB-01
Fungsi	Tempat penyerapan gas CO ₂ dari campuran gas <i>output</i> dari reaktor dengan menggunakan <i>solvent air</i>
Jenis	<i>Packed Columns</i>
Jumlah	1 unit

Harga	Rp
Kondisi Operasi	
Suhu	35 °C
Tekanan	2 atm
Konstruksi dan Material	
Bahan konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 grade 11 tipe 316</i>
Diameter (ID) shell	2,93 m
Tebal shell	0,3125 in
Tebal head	0,25 in
Tinggi total	8,38 m
Jenis head	<i>Torispherical dished head</i>
Packing	
Tipe packing	<i>Rasching rings</i>
Bahan konstruksi packing	Keramik
Diameter packing	2,93 m

c. Water Trap (WT-01)

Tabel 3. 4 Spesifikasi Water Trap

WATER TRAP	
Kode	WT-01
Fungsi	Tempat pemisahan campuran gas dan cairan hasil <i>output</i> dari absorber
Jenis	<i>Condensate POT CP 750</i>
Jumlah	1 unit
Harga	Rp
Kondisi Operasi	
Suhu	35 °C
Tekanan	2 atm
Konstruksi dan Material	
Bahan konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 grade 11 tipe 316</i>
Kapasitas	630,51 Nm ³ /jam
Diameter	1600 in
Tinggi water trap	0,786 m

d. Gas Engine (GE-01)

Tabel 3. 5 Spesifikasi Gas Engine

GAS ENGINE	
Kode	GE-01
Fungsi	Tempat untuk membakar biogas dan mengubah menjadi listrik
Jenis	<i>Gas engine MWMTCG 3020 V20</i>
Jumlah	1 unit
Harga	Rp
Kondisi Operasi	
Suhu	35 °C
Tekanan	1 atm
Spesifikasi	
Panjang gas engine	6,6 m
Tinggi gas engine	2,19 m
Kecepatan	1500 rpm
Power Hp	125 Hp
Output listrik	2,30 MWe
Konsumsi biogas	1.375,06 m ³ /jam

e. Flare (F-01)

Tabel 3. 6 Spesifikasi Flare

FLARE	
Kode	F-01
Fungsi	Tempat untuk membakar kelebihan biogas
Jenis	<i>Automatic open biogas flare</i>
Jumlah	1 unit
Harga	Rp
Kondisi Operasi	
Suhu	35 °C
Tekanan	1 atm
Spesifikasi	
Kapasitas	205,1333 Nm ³ /jam
Kadar metana	50-70 %
Tinggi flare	6 m
Tekanan	20-250 mbar
Tegangan (Voltage)	220 VAC

f. Centrifuge (CF-01)

Tabel 3. 7 Spesifikasi Centrifuge

CENTRIFUGE	
Kode	CF-01
Fungsi	Tempat pemisahan residu POME dari larutan induknya (<i>mother liquor</i>)
Jenis	<i>Helical conveyer centrifuge</i>
Jumlah	1 unit
Harga	Rp
Kondisi Operasi	
Suhu	35 °C
Tekanan	1 atm
Konstruksi dan Material	
Bahan konstruksi	<i>Stainless Steel SA-283 grade C</i>
Kapasitas	Padatan = 4,03 ton/jam Cairan $\leq$ 243,82 gallon/menit
Diameter bowl	24 in
Kecepatan putar bowl	3000 rpm
Power motor	125 hp

g. Expander (EX-01)

Tabel 3. 8 Spesifikasi Expander

EXPANDER	
Kode	EX-01
Fungsi	Menurunkan tekanan gas <i>output</i> keluaran water trap dari bernilai 2 atm menjadi 1 atm supaya dapat diumpankan ke <i>gas engine</i>
Jenis	<i>Expander turbin gas</i>
Jumlah	1 unit
Harga	Rp
Kondisi Operasi	
Tekanan masuk	2 atm
Tekanan keluar	1 atm
Suhu masuk	308 K
Suhu keluar	292,15 K
Power	7 Hp
Kapasitas	1.375,06 kg/jam

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

Tabel 3. 9 Spesifikasi Tangki Penyimpanan

Komponen	SL-01
Fungsi	Menyimpan serbuk kapur (CaO) sebelum masuk ke mixer
Lama penyimpanan	7 hari
Fasa	Padat
Jumlah Tangki	1 unit
Kondisi Operasi	T = 30 C P = 1 atm
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA 283 Grade C</i>
Jenis tangki	Silinder tegak
Volume tangki	1,16 m ³
Tinggi	2,2 m
Diameter	0,8804 m
Jumlah course	-
Jenis head	<i>Flat</i>
Jenis bottom	<i>Conical</i>
Tebal shell	0,1875 in
Tebal head	0,1875 in
Tebal bottom	-
Harga	Rp

Tabel 3. 10 Spesifikasi Bak Penyimpanan

Komponen	BP-01	BP-02
Fungsi	Menyimpan bahan baku berupa limbah cair kelapa sawit (POME)	Menyimpan slurry residu dari centrifuge yang bisa dimanfaatkan untuk pupuk organik
Lama penyimpanan	7 hari	7 hari
Fasa	Cair	Padat
Jumlah Tangki	1 unit	1 unit
Kondisi Operasi	T = 30 C P = 1 atm	T = 30 C P = 1 atm
Bahan Konstruksi	Beton kedap air	Beton kedap air
Jenis tangki	Bak persegi panjang dengan penutup	Bak persegi panjang dengan penutup
Volume tangki	11.739,4301 m ³	814,403 m ³
Panjang	28,63 m	11,76 m
Lebar	28,63 m	11,76 m
Tinggi	14,31 m	5,88 m
Harga	Rp	Rp

3.3.4 Spesifikasi Transportasi Bahan

Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Padat, Cair, dan Gas

Tabel 3. 11 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Padat

Komponen	SC-01
Fungsi	Alat transportasi yang digunakan untuk mengangkut kalsium oksida ke mixer dari tempat penyimpanannya
Bahan yang diangkut	CaO
Bentuk bahan	Padat
Jenis conveyer	<i>Screw conveyer</i>
Kondisi operasi	Suhu = 30 °C Tekanan = 1 atm
Kecepatan	40 rpm
Daya motor	0,430 Hp
Panjang	4,57 m
Diameter Screw	9 in
Bahan konstruksi	<i>Stainless steal</i>
Harga	Rp 182.499.119,44

Tabel 3. 12 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair

Komponen	P-01	P-02	P-03	P-04
Fungsi	Alat transportasi bahan baku POME menuju mixer	Alat transportasi umpan Air proses menuju mixer	Mengalirkan umpan dari mixer menuju reaktor	Mengalirkan umpan air proses menuju absorber
Bahan yang dipompa	POME	H ₂ O	Slurry umpan	H ₂ O
Viskositas	0,892 cp	0,818 cp	2,295 cp	0,818 cp
Densitas	1.036 kg/m ³	1.023 kg/m ³	1.299 kg/m ³	1.009 kg/m ³
Kapasitas	67,39 m ³ /jam	0,203 m ³ /jam	53,963 m ³ /jam	1,055 m ³ /jam
Pump head	8,045 m	6,889 m	33,793 m	10,439 m
Suhu fluida	30 °C	30 °C	30 °C	30 °C
Jenis pompa	<i>Screw pump (rotating pump)</i>	<i>Centrifugal pump (dynamic pump)</i>	<i>Screw pump (rotating pump)</i>	<i>Centrifugal pump (dynamic pump)</i>
Daya motor	3.728,5 watt	37,285 watt	11.185,5 wat	93,2125 watt
Bahan konstruksi	<i>Commercial Steel</i>	<i>Commercial Steel</i>	<i>Commercial Steel</i>	<i>Commercial Steel</i>
Harga	Rp 35.174.303,97	Rp 35.174.303,97	Rp 35.174.303,97	Rp 35.174.303,97

Lanjutan **Tabel 3.12** Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair

Komponen	P-05	P-06	P-07	P-08
Fungsi	Mengalirkan slurry hasil bawah dari reaktor menuju centrifuge	Memompa hasil keluaran centrifuge menuju UPL	Memompa aliran keluaran centrifuge menuju bak penampungan pupuk	Mengalirkan keluaran bawah absorber menuju UPL
Bahan yang dipompa	Slurry umpan	NH ₃ , CaO, dan H ₂ O	NH ₃ , CaO, H ₂ O	CO ₂ dan H ₂ O
Viskositas	0,770 cp	0,735 cp	1,225 cp	0,602 cp
Densitas	1.025 kg/m ³	1.018 kg/m ³	1.106 kg/m ³	909,86 kg/m ³
Kapasitas	66,45 m ³ /jam	62,103 m ³ /jam	4,380 m ³ /jam	1,528 m ³ /jam
Pump head	1,504 m	1,396 m	6,867 m	11,793 m
Suhu fluida	35 °C	35 °C	35 °C	35 °C
Jenis pompa	<i>Centrifugal pump (dynamic pump)</i>	<i>Centrifugal pump (dynamic pump)</i>	<i>Screw pump (rotating pump)</i>	<i>Centrifugal pump (dynamic pump)</i>
Daya motor	559,175 watt	559,275 watt	372,85 watt	37,285 watt
Bahan konstruksi	<i>Commercial Steel</i>	<i>Commercial Steel</i>	<i>Commercial Steel</i>	<i>Commercial Steel</i>
Harga	Rp 35.174.303,97	Rp 35.174.303,97	Rp 35.174.303,97	Rp 35.174.303,97

Tabel 3. 13 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Gas

Komponen	B-01	B-02
Fungsi	Mengalirkan gas keluaran reaktor menuju absorber	Mengalirkan gas keluaran absorber menuju water trap
Jenis	<i>Centrifugal blower</i>	<i>Centrifugal blower</i>
Bahan	<i>Cat iron</i>	<i>Cat iron</i>
Suhu	35 °C	35 °C
Tekanan	2 atm	2 atm
Laju alir gas masuk	1.603,96 ft ³ /menit	1.341,34 ft ³ /menit
Power blower	0,33 hp	0,33 hp
Harga	Rp 112.932.008,96	Rp 101.249.387,34

Tabel 3. 14 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Gas

Komponen	V-01	V-02
Fungsi	Mengalirkan gas keluaran water trap menuju gas engine	Mengalirkan gas keluaran water trap biogas menuju flare
Jenis	<i>Full bore ball valve</i>	<i>Full bore ball valve</i>
Bahan	<i>Cast iron</i>	<i>Cast iron</i>
Suhu	35 °C	35 °C
Laju alir gas masuk	10.473 m ³ /jam	1.047,34 m ³ /jam
Tekanan valve	2 atm	2 atm
Harga	Rp 1.300.000,00	Rp1.300.000,00

3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. Spesifikasi Jaket Pemanas

Tabel 3. 15 Spesifikasi Jaket Pemanas

JAKET PEMANAS	
Kode	J-01
Fungsi	Memanaskan temperatur mixer menuju reaktor
Jenis	<i>Jaket vessel</i>
Jumlah alat	1 unit
Harga	Rp 854.864.296,32
Kondisi Operasi	
Tekanan operasi	1 atm
Suhu operasi	35 C
Dimensi	
Bahan konstruksi	<i>Carbon steel plate sa-285 grade C</i>
Tebal	60 in

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Total

Tabel 3. 16 Neraca Massa Total

Komponen	Nomor Arus (Kg/jam)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TSS	2.911,56			2.911,56		1.264,55			
H ₂ O (cair)	55.319,73		172,80	55.492,53		55.436,78			
CaO		19,23		19,23		19,23			
CH ₄					470,50			470,50	
CO ₂					1.129,43			903,54	225,89
NH ₃						47,10			
N ₂									
O ₂									
H ₂ O (Gas)					55,75			10,22	
H ₂ O (cair)							887,37		932,90
Pupuk padat									
Jumlah	58.231,30	19,23	172,80	58.423,33	1.655,68	56.767,66	887,37	1.384,25	1.158,79

Lanjutan **Tabel 3.16** Neraca Massa Total

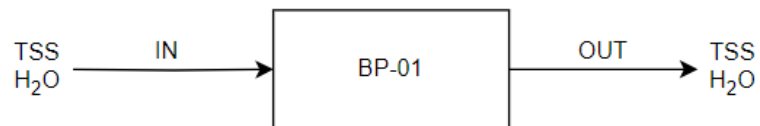
Komponen	Nomor Arus (Kg/jam)							
	10	11	12	13	14	15	16	17
TSS							1.264,55	
H ₂ O (cair)		9,19					2.771,84	52.664,94
CaO							0,96	18,27
CH ₄	470,50	0,00						
CO ₂	903,54	0,00		2.197,41		219,74		
NH ₃							2,35	44,74
N ₂			5.750,10	5.750,10	575,01	575,01		
O ₂			1.881,99		188,20			
H ₂ O (Gas)	1,02			1.059,64		105,96		
C ₂ H ₇ NO								
Pupuk Padat								
Jumlah	1.375,06	9,19	7.632,09	9.007,15	763,21	900,71	4.039,70	52.727,95

3.4.2 Neraca Massa Alat

a. Neraca Massa Bak Penampungan (BP-01)

Tabel 3. 17 Neraca Massa Bak Penampungan

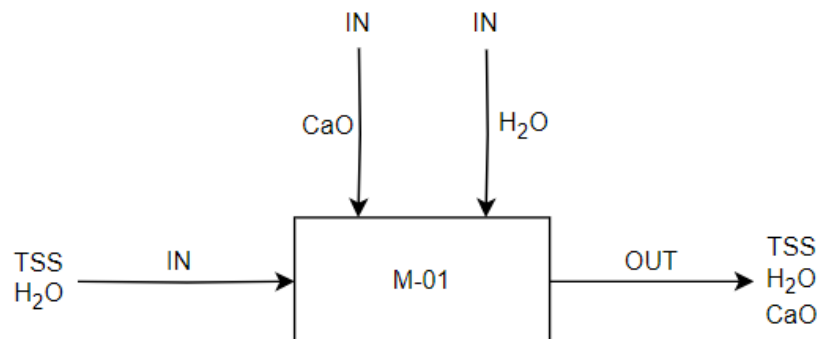
KOMPONEN	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
	Feed	1
TSS	2.911,56	2.911,56
H ₂ O (Air)	55.319,73	55.319,73
TOTAL	58.231,30	58.231,30



b. Neraca Massa Mixer (M-01)

Tabel 3. 18 Neraca Massa Mixer

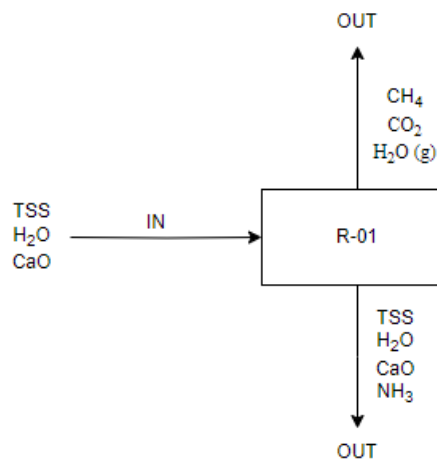
KOMPONEN	Masuk (kg/jam)			Keluar (kg/jam)
	1	2	3	4
TSS	2.911,56			2.911,56
H ₂ O (Air)	55.319,73		172,80	55.492,53
CaO		19,23		19,23
TOTAL	58.231,30	19,23	172,80	58.423,33
SUBTOTAL	58.423,33			58.423,33



c. Neraca Massa Reaktor (R-01)

Tabel 3. 19 Neraca Massa Reaktor

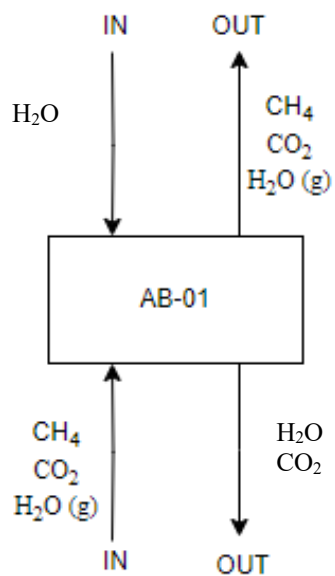
KOMPONEN	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	4	5	6
TSS	2.911,56		1.264,55
H ₂ O (Cair)	55.492,53		55.436,78
CaO	19,23		19,23
CH ₄		470,50	
CO ₂		1.129,43	
H ₂ O (Gas)		55,75	
NH ₃			47,10
TOTAL	58.423,33	1.655,68	56.767,66
SUBTOTAL	58.423,33	58.423,33	



d. Neraca Massa Absorber (AB-01)

Tabel 3. 20 Neraca Massa Absorber

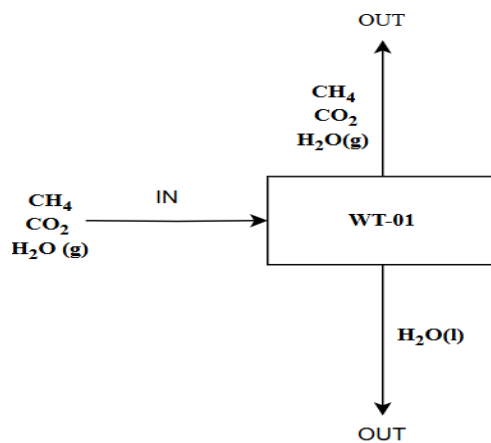
KOMPONEN	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	5	7	8	9
CH ₄	470,50		470,50	
CO ₂	1.129,43		903,54	225,89
H ₂ O (Gas)	55,75		10,22	
H ₂ O (Cair)		887,37		932,90
TOTAL	1.655,68	887,37	1.384,25	1.158,79
SUBTOTAL	2.543,04		2.543,04	



e. Neraca Massa Water Trap (WT-01)

Tabel 3. 21 Neraca Massa Water Trap

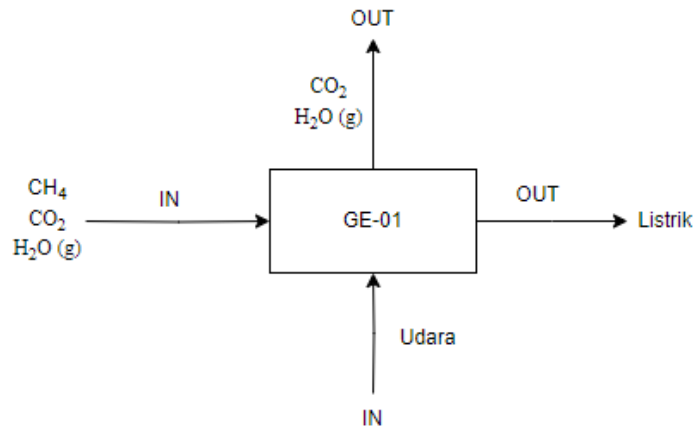
KOMPONEN	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	8	Gas atas (10)	Cair bawah (11)
CH ₄	470,50	470,50	
CO ₂	903,54	903,54	
H ₂ O (Gas)	10,22	1,02	
H ₂ O (Cair)			9,19
TOTAL	1.384,25	1.375,06	9,19
SUBTOTAL	1.384,25	1.384,25	



f. Neraca Massa *Gas Engine* (GE-01)

Tabel 3. 22 Neraca Massa Gas Engine

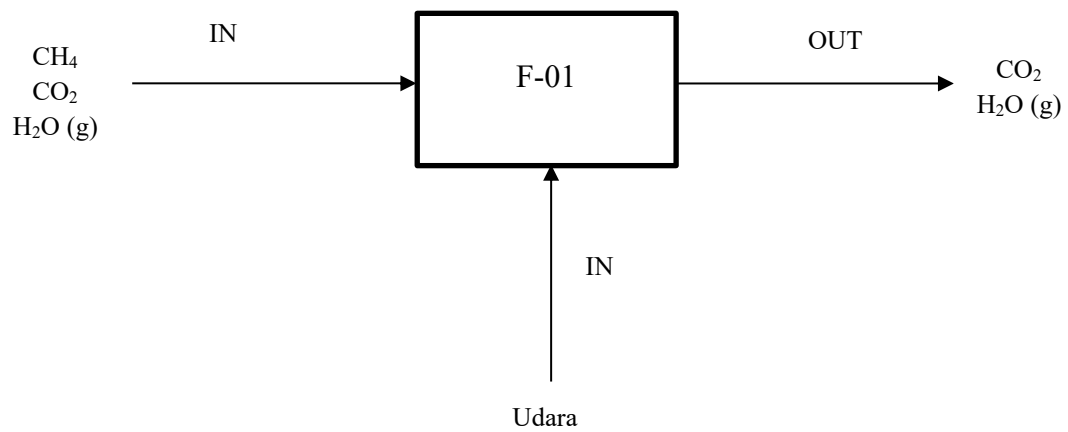
KOMPONEN	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	10	12	13
CH ₄	470,50		
CO ₂	903,54		2.197,41
H ₂ O (Gas)	1,02		1.059,64
N ₂		5.750,10	5.750,10
O ₂		1.881,99	
TOTAL	1.375,06	7.632,09	9.007,15
SUBTOTAL	9.007,15		9.007,15



g. Neraca Massa Flare (F - 01)

Tabel 3. 23 Neraca Massa Flare

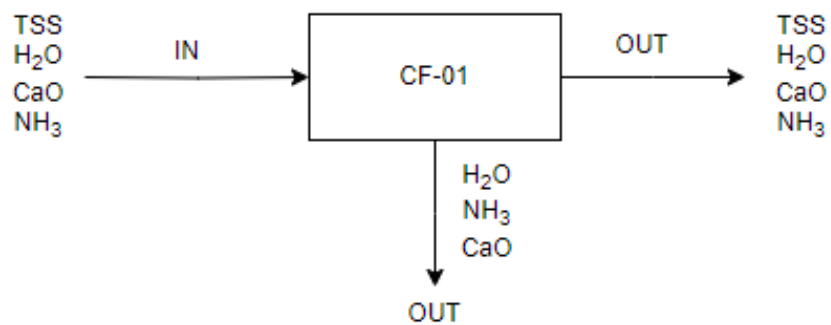
KOMPONEN	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	10	14	15
CH ₄	47,05		
CO ₂	90,35		219,74
H ₂ O (Gas)	0,10		105,96
N ₂		575,01	575,01
O ₂		188,20	
TOTAL	137,51	763,21	900,71
SUBTOTAL	900,71		900,71



h. Neraca Massa Centrifuge (CF-01)

Tabel 3. 24 Neraca Massa Centrifuge

KOMPONEN	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	6	16	17
TSS	1.264,55	1.264,55	
H ₂ O	55.436,78	2.771,84	52.664,94
NH ₃	47,10	2,35	44,74
CaO	19,23	0,96	18,27
TOTAL	56.767,66	4.039,70	52.727,95
SUBTOTAL	56.767,66	56.767,66	



3.5 Neraca Panas

a. Neraca Panas Mixer (M-01)

Tabel 3. 25 Neraca Panas Mixer

Komponen	Panas Masuk (kJ/jam)	Panas Keluar (kJ/jam)
TSS	19,8711	19,871
CaO	2.151,040	2.151,04
H ₂ O	1,16E+06	1,16E+06
Total	1.165.981,30	1.165.981,30

b. Neraca Panas Reaktor (R-01)

Tabel 3. 26 Neraca Panas reaktor

Komponen	kJ/jam	Panas Keluar	kJ/jam
ΔH in	1,1659843,E+06	ΔHout	2,351956,E+06
Q pemanas	7,3562706,E+08	Panas Reaksi	7,344411,E+08
Total	7,367930,E+08	Total	7,367930,E+08

c. Neraca Panas Absorber (AB-01)

Tabel 3. 27 Neraca Panas Absorber

Komponen	Panas Masuk (kJ/jam)	Panas Keluar (kJ/jam)
CH ₄	1,07399E+04	1,07399E+04
CO ₂	9,90088E+03	1,10474E+04
H ₂ O (gas)	1,04265E+03	1,91044E+02
H ₂ O (cair)	3,71951E+04	3,91038E+04
Panas yang diserap cairan	2,20361E+03	
Total	6,10821E+04	6,10821E+04

d. Neraca Panas Water Trap (WT-01)

Tabel 3. 28 Neraca panas Water Trap

Komponen	Panas Masuk (kJ/jam)	Panas Keluar (kJ/jam)
CH ₄	1,0735E+04	1,0735E+04
CO ₂	7,9211E+03	7,9211E+03
H ₂ O (gas)	1,9103E+02	1,9103E+01
H ₂ O (cair)		3,8547E+02
Panas yan ditambahkan	2,1339E+04	
Total	2,9748E+04	2,9748E+04

e. Neraca Panas *Gas Engine* (GE-01)

Tabel 3. 29 Neraca Panas Gas Engine

Komponen	Panas Masuk (kJ/jam)	Panas Keluar (kJ/jam)
CH ₄	1,07347E+04	
CO ₂	7,92107E+03	5,45425E+06
H ₂ O (gas)	1,91029E+01	5,24184E+06
N ₂	2,98517E+04	1,29521E+07
O ₂	8,66713E+03	
Q Pembakaran	2,35910E+07	
Total	2,36482E+07	2,36482E+07

f. Neraca Panas Flare (F - 01)

Tabel 3. 30 Neraca Panas Flare

Komponen	Panas Masuk (kJ/jam)	Panas Keluar (kJ/jam)
CH ₄	1.073,4717	
CO ₂	792,1070	545.425,1093
H ₂ O (gas)	1,9103	524.184,2113
N ₂	2.985,1698	1.295.212,4393
O ₂	866,7126	
Q Pembakaran	2.359.102,3865	
Total	2,3648E+06	2,3648E+06

g. Neraca Panas Centrifuge (CF-01)

Tabel 3. 31 Neraca Panas Centrifuge

KOMPONEN	Panas Masuk (kJ/jam)	Panas Keluar (kJ/jam)	
	Masuk	Keluar (1)	Keluar (2)
TSS	1,7261E+01	1,7261E+01	
H ₂ O	2,3237E+06	1,1618E+05	2,2075E+06
NH ₃	4,5265E+03	2,2633E+02	4,3002E+03
CaO	2,2528E+03	1,1264E+02	2,1402E+03
TOTAL	2,3305E+06	1,1654E+05	2,2140E+06
SUBTOTAL	2,3305E+06	2,3305E+06	

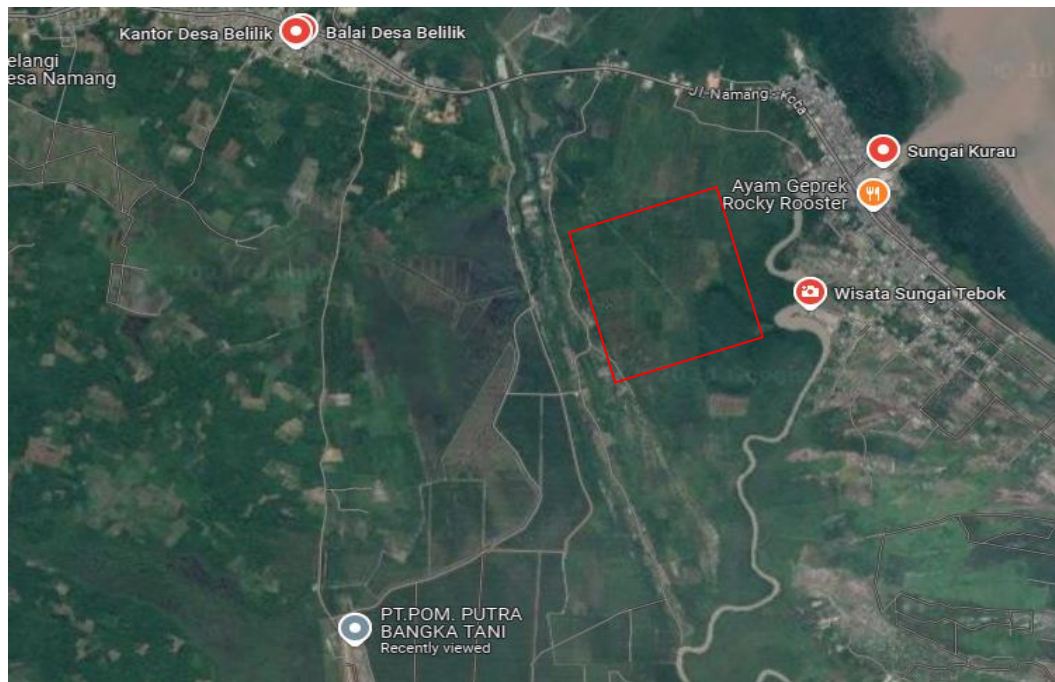
BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal yang sangat penting dalam perancangan dan pendirian suatu pabrik, karena sebagai faktor penentu nilai ekonomis dari pabrik yang akan didirikan serta penentu keberlangsungan suatu pendirian pabrik maupun dalam persaingan selanjutnya. Dalam pemilihan lokasi pabrik harus memberikan suatu perhitungan biaya produksi dan distribusi yang seminimal mungkin. Ada beberapa banyak pertimbangan yang menjadi dasar dalam kerja, kondisi sosial, dan pengembangan di masa mendatang. Dalam menentukan lokasi pabrik terdapat beberapa faktor, yaitu diantaranya:

- a. Letak pabrik dengan sumber bahan baku dan bahan pembantu
- b. Letak pabrik dengan pasar penunjang
- c. Transportasi
- d. Tenaga kerja
- e. Kondisi sosial, dan pengembangan di masa mendatang.



Gambar 4. 1 Peta Lokasi Rencana Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)

Berdasarkan faktor – faktor diatas, maka lokasi pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dari air limbah pabrik kelapa sawit (POME) dengan kapasitas 2,30 MWeL ini direncanakan akan didirikan dekat sungai Kurau di daerah Kurau Barat, Kecamatan Koba, Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia. Dengan pertimbangan sebagai berikut:

4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor utama ini mempengaruhi secara langsung tujuan utama pabrik yang meliputi produksi dan distribusi produk. Faktor utama meliputi:

a. Penyediaan Bahan Baku

Dalam penyediaan bahan baku untuk kebutuhan pabrik ini alangkah baiknya berdekatan dengan sumber bahan baku karena dapat memudahkan transportasi serta meminimalisir biaya transportasi. Sumber bahan baku yang digunakan untuk

kebutuhan produksi yaitu air limbah pabrik kelapa sawit (POME) dari PT. Putera Bangka Tani wilayah Kepulauan Bangka Belitung dan Kabupaten Bangka Tengah.

b. Pemasaran Produk

Pemasaran yang baik dan tepat akan menghasilkan keuntungan dan menjamin kelangsungan suatu pabrik. Konsep pemasaran produk listrik dari sumber biogas ini bertujuan untuk menjamin kebutuhan energi listrik di sekitar pabrik dan dapat menunjang kebutuhan energi listrik di daerah Kabupaten Bangka Tengah. Tetapi diharapkan juga pemasarannya tidak hanya di dalam negeri melainkan dapat juga untuk diekspor.

c. Transportasi

Pengambilan bahan baku dan penjualan produk dapat dilakukan melalui jalan darat dengan menggunakan truk tertutup. Lokasi yang dipilih dalam rencana pendirian pabrik ini merupakan kawasan yang letaknya strategis karena tidak jauh dengan wilayah pengambilan bahan baku. Selain itu dapat dilalui kendaraan yang berat atau besar sehingga dapat mempermudah pemasaran produk.

d. Ketertersediaan Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan modal utama pendirian suatu pabrik, baik tenaga kasar maupun tenaga terdidik yang mempunyai keahlian dibidangnya masing – masing. Sebagian besar tenaga kerja yang dibutuhkan adalah tenaga kerja yang berpendidikan kejuruan atau menengah dan sebagian sarjana. Untuk memenuhinya dapat diperoleh dari sekitar lokasi pabrik. Selain itu, faktor kedisiplinan dan pengalaman kerja juga menjadi prioritas dalam perekrutan tenaga kerja, sehingga diperoleh tenaga kerja yang berkualitas.

e. Utilitas

Dalam pendirian suatu pabrik tenaga listrik, air, dan bahan bakar adalah faktor penunjang yang paling penting. Lokasi pabrik didirikan di dekat sungai Kurau, untuk memenuhi kebutuhan air seperti air proses, air sanitasi, dan kebutuhan air umum lainnya yang dapat dipenuhi dengan baik dan murah. Sarana yang lain seperti bahan bakar dapat diperoleh dari PT. Pertamina (Persero) dengan cukup mudah melalui transportasi darat. Sedangkan kebutuhan listrik dapat memanfaatkan listrik PLN maupun swasta yang sudah masuk ke wilayah ini. Selain dari PLN, disediakan juga cadangan dari generator pembangkit tenaga menggunakan bahan bakar solar yang diperoleh dari PT. Pertamina (Persero).

f. Kondisi Iklim dan Keadaan Geografis

Lokasi yang dipilih merupakan lokasi yang cukup stabil karena memiliki iklim rata – rata yang cukup baik. Seperti daerah lain di Indonesia yang beriklim tropis dengan temperatur udara berkisar 20 – 35 °C. Bencana alam seperti gempa bumi, tanah longsor, maupun banjir besar jarang terjadi sehingga operasi pabrik dapat berjalan lancar.

4.1.2 Faktor Sekunder

Faktor sekunder tidak secara langsung berperan dalam proses operasional pabrik. Akan tetapi berpengaruh dalam kelancaran proses operasional dari pabrik itu sendiri. Faktor – faktor sekunder meliputi :

a. Area Perluasan Pabrik

Dalam pendirian suatu pabrik diperlukan adanya pertimbangan untuk perencanaan perluasan pabrik tersebut dalam jangka waktu 10 atau 20 tahun ke

depan. Karena untuk mengantisipasi adanya peningkatan permintaan produk yang akan mempengaruhi peningkatan kapasitas pabrik, sehingga apabila suatu saat nanti terjadi perluasan area pabrik maka tidak akan mengalami kesulitan untuk mencari lahan perluasan.

b. Perijinan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk kawasan industri, sehingga memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik. Pengaturan tata letak pabrik merupakan bagian terpenting dalam proses pendirian pabrik, hal – hal yang perlu diperhatikan antara lain :

- Segi keamanan kerja terpenuhi.
- Pengoperasian, pengontrolan, pengangkutan, pemindahan maupun perbaikan semua peralatan proses dapat dilakukan dengan mudah dan aman.
- Pemanfaatan areal tanah se-efisien mungkin.
- Transportasi yang baik dan efisien.

c. Prasarana dan Fasilitas Sosial

Prasarana seperti jalan dan transportasi lainnya harus tersedia, demikian juga fasilitas sosial yang seperti penyediaan bengkel industri, sarana kesehatan, pendidikan, ibadah, bank, hiburan, dan perumahan sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan taraf hidup.

d. Lingkungan Masyarakat Sekitar

Sikap masyarakat sekitar cukup terbuka dengan berdirinya pabrik baru. Hal ini disebabkan akan tersedianya lapangan pekerjaan bagi mereka, sehingga terjadi peningkatan kesejahteraan masyarakat setelah pabrik didirikan. Selain itu pendirian

pabrik ini tidak akan mengganggu keselamatan dan keamanan masyarakat di sekitarnya karena dampak dan faktor – faktornya sudah dipertimbangkan sebelum pabrik berdiri.

e. Luas Area yang Tersedia

Harga tanah menjadi hal yang membatasi kemampuan penyedia area. Pemakaian tempat disesuaikan dengan area yang tersedia. Jika harga tanah amat tinggi, maka diperlukan efisiensi dalam pemakaian ruangan hingga peralatan tertentu diletakkan diatas peralatan yang lain ataupun lantai ruangan diatur sedemikian rupa agar menghemat tempat.

4.2 Tata Letak Pabrik (Plant Layout)

Tata letak pabrik adalah tempat kedudukan dari bagian-bagian pabrik yang meliputi tempat bekerjanya karyawan, tempat peralatan, tempat penyimpanan bahan baku dan produk, serta sarana lain seperti utilitas, taman, dan tempat parkir. Secara garis besar *lay-out* pabrik dibagi menjadi beberapa daerah utama, yaitu :

a. Daerah Administrasi (perkantoran), Laboratorium, dan Fasilitas Pendukung

Daerah administrasi adalah daerah pusat kegiatan perkantoran dan keuangan pabrik yang mengatur kelancaran operasi perusahaan. Laboratorium sebagai pusat pengendalian kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual. Fasilitas – fasilitas bagi karyawan yaitu : poliklinik, kantin, dan masjid.

b. Daerah Proses & Ruang Kontrol

Daerah Proses & Ruang Kontrol adalah daerah tempat alat proses diletakkan dan proses berlangsung. Ruang kontrol sebagai pusat pengendalian proses.

c. Daerah Penyimpanan Bahan Baku & Produk

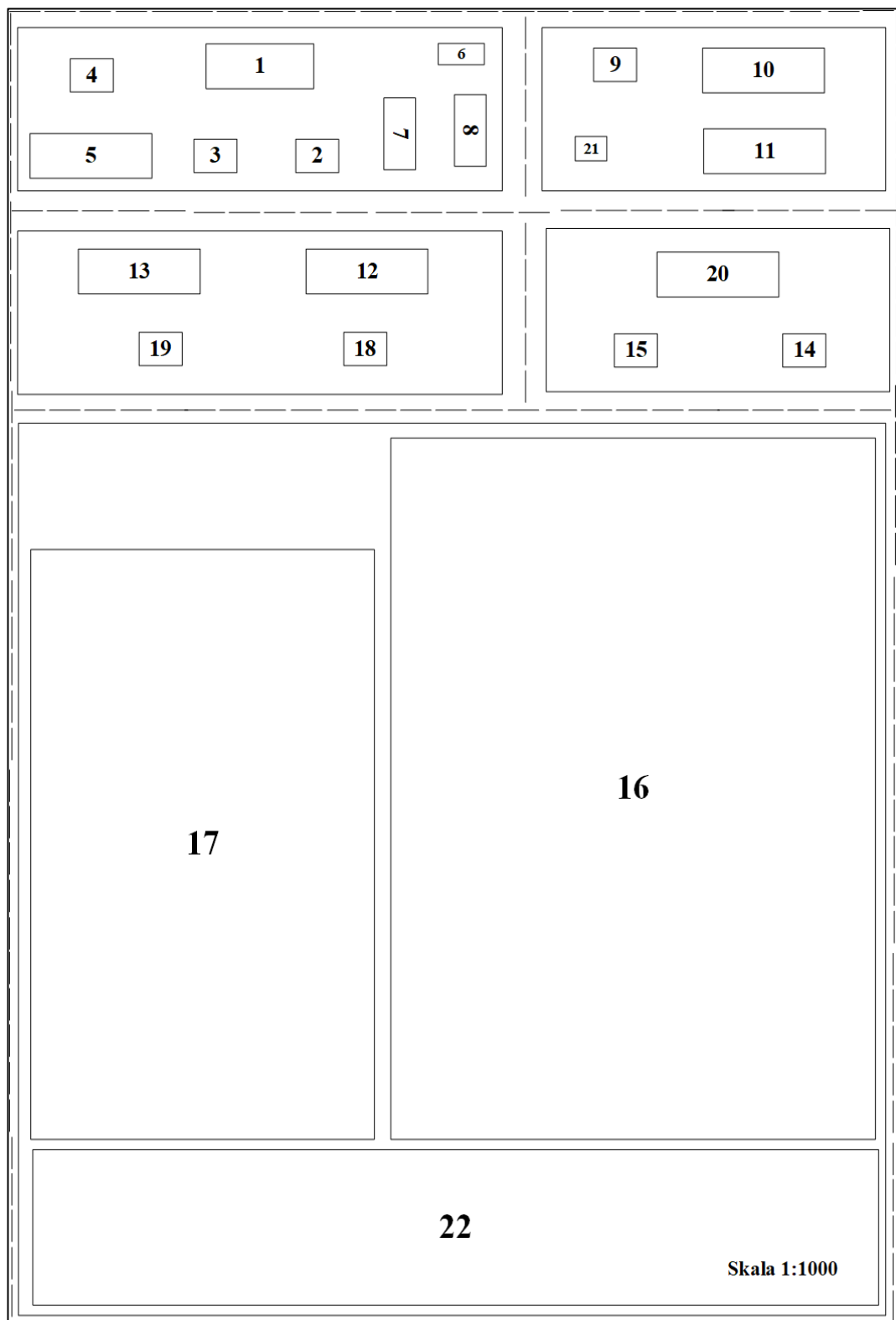
Daerah penyimpanan bahan baku & produk adalah daerah tempat tangki bahan baku & produk.

d. Daerah Gudang, Bengkel, dan Garasi

Daerah gudang, bengkel, dan garasi adalah daerah tempat perbaikan setiap alat agar tidak terekspos ke luar pabrik guna kebutuhan perawatan alat proses serta tempat simpan suku cadang alat proses.

e. Daerah Utilitas dan Pemadam Kebakaran

Daerah utilitas dan pemadam kebakaran adalah daerah pusat kegiatan penyediaan air, steam, dan tenaga listrik yang disediakan guna menunjang jalannya proses serta unit pemadam kebakaran.



Gambar 4. 2 Lay Out Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Keterangan Gambar :

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| 1. Kantor Utama | 12. Kantor Produksi & Teknik |
| 2. Masjid | 13. Laboratorium |
| 3. Kantin | 14. Ruang Kontrol Proses |
| 4. Klinik | 15. Ruang Kontrol Utilitas |
| 5. Mess | 16. Area Proses |
| 6. Pos Keamanan | 17. Area Utilitas |
| 7. Parkir Karyawan | 18. Bengkel |
| 8. Parkir Tamu | 19. Unit Pengolahan Limbah (UPL) |
| 9. Unit Pemadam Kebakaran | 20. Gudang Peralatan |
| 10. Parkir Truk | 21. Taman |
| 11. Area Timbang Truk | 22. Daerah Perluasan Pabrik |

Tabel 4. 1 Area Luas Bangunan dan Tanah Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg)

No.	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
1.	Kantor Utama	20	10	200
2.	Masjid	15	10	150
3.	Kantin	15	10	150
4.	Klinik	15	10	150
5.	Mess	20	15	300
6.	Pos Keamanan	10	5	50
7.	Parkir Karyawan	15	15	225
8.	Parkir Tamu	15	10	150
9.	Unit Pemadam Kebakaran	15	10	150

10.	Parkir Truk	20	15	300
11.	Area Timbang Truk	20	15	300
12.	Kantor Produksi & Teknik	20	15	300
13.	Laboratorium	20	20	400
14.	Ruang Kontrol Proses	15	10	150
15.	Ruang Kontrol Utilitas	15	10	150
16.	Area Proses	120	180	21.600
17.	Area Utilitas	100	120	12.000
18.	Bengkel	15	10	150
19.	Unit Pengolahan Limbah	15	10	150
20.	Gudang Peralatan	20	15	300
21.	Taman	10	10	100
22.	Jalan	50	50	2.500
Luas Bangunan				41.525
Luas Tanah				1.255

4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses (*Machines Layout*)

Dalam perancangan tata letak peralatan proses pada pabrik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

a. Aliran Bahan Baku dan Produk

Aliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar, serta menunjang kelancaran dan keamanan produksi.

b. Aliran Udara

Aliran udara di dalam dan sekitar area proses perlu diperhatikan kelancarannya. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat berupa penumpukan atau akumulasi bahan kimia berbahaya yang dapat membahayakan keselamatan pekerja, selain itu perlu memperhatikan arah

hembusan angin agar gas buangan pabrik tidak mengarah ke area perumahan warga.

c. Pencahayaan

Penerangan seluruh pabrik harus memadai pada tempat – tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi harus diberi penerangan tambahan agar dapat diawasi dengan baik, karena apabila pencahayaannya kurang baik maka resiko kecelakaan kerja akan semakin tinggi

d. Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Dalam perancangan *lay-out* peralatan, perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat dan mudah agar apabila terjadi gangguan pada alat proses dapat segera diperbaiki. Selain itu keamanan pekerja selama menjalankan tugasnya perlu diprioritaskan.

e. Pertimbangan Ekonomi

Dalam menempatkan alat – alat proses pada pabrik diusahakan agar dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran serta keamanan produksi pabrik sehingga dapat menguntungkan dari segi ekonomi.

f. Jarak Antar Alat Proses

Untuk alat proses yang mempunyai suhu dan tekanan operasi tinggi, sebaiknya dipisahkan dari alat proses lainnya, sehingga apabila terjadi ledakan atau kebakaran pada alat tersebut tidak membahayakan alat – alat proses lainnya. Tata letak proses harus dirancang sedemikian rupa sehingga :

- Kelancaran proses produksi dapat terjamin.
- Dapat mengefektifkan penggunaan luas lantai.
- Biaya *material handling* menjadi rendah, sehingga menyebabkan

menurunnya pengeluaran untuk capital yang tidak penting.

- Jika tata letak peralatan proses sedemikian rupa sehingga urutan proses produksi lancar, maka perusahaan tidak perlu untuk memakai alat angkut dengan biaya mahal.
- Karyawan mendapatkan kepuasan kerja.

g. Perawatan (*Maintenance*)

Maintenance berguna untuk menjaga sarana atau fasilitas peralatan pabrik dengan cara pemeliharaan dan perbaikan alat agar produksi dapat berjalan dengan lancar dan produktifitas menjadi tinggi sehingga akan tercapai target produksi dan spesifikasi produk yang diharapkan. Perawatan preventif dilakukan setiap hari untuk menjaga dari kerusakan alat dan kebersihan lingkungan alat. Sedangkan perawatan periodik dilakukan secara terjadwal sesuai dengan buku petunjuk yang ada. Penjadwalan tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga alat – alat mendapat perawatan khusus secara bergantian. Alat – alat memproduksi secara kontinyu dan akan berhenti jika terjadi kerusakan.

Perawatan alat – alat proses dilakukan dengan prosedur yang tepat. Hal ini dapat dilihat dari penjadwalan yang dilakukan pada setiap alat. Perawatan mesin tiap – tiap alat meliputi :

1. Over head 1 x 1 tahun

Merupakan perbaikan dan pengecekan serta *leveling* alat secara keseluruhan meliputi pembongkaran alat, pergantian bagian – bagian alat yang sudah rusak, kemudian kondisi alat dikembalikan seperti kondisi semula.

2. Repairing

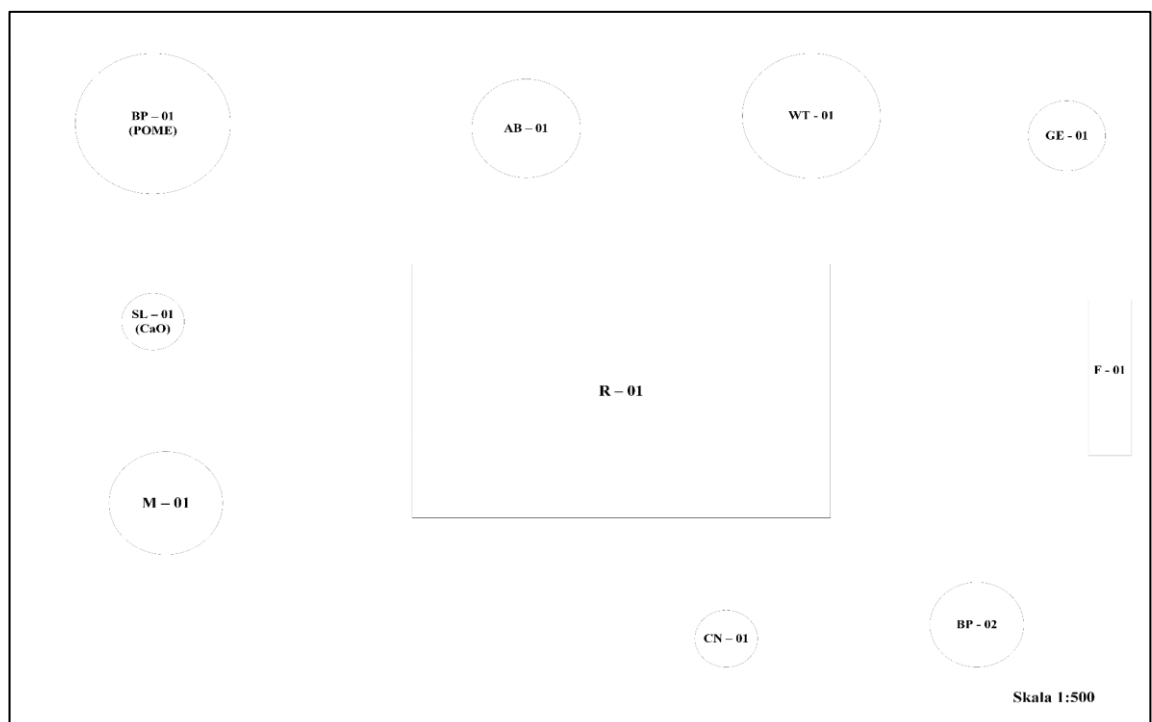
Adalah kegiatan *maintenance* yang bersifat memperbaiki bagian – bagian alat. Hal ini biasanya dilakukan setelah pemeriksaan. Faktor – faktor yang mempengaruhi *maintenance*:

- Bahan Baku

Penggunaan bahan baku yang kurang berkualitas akan menyebabkan kerusakan alat, sehingga alat akan lebih sering dibersihkan.

- Tenaga Manusia

Pemanfaatan tenaga kerja terdidik, terlatih, dan berpengalaman akan menghasilkan pekerjaan yang baik pula.



Gambar 4. 3 Tata Letak Alat Proses Pabrik

Keterangan Gambar :

- | | |
|-------------------|-----------------------------------|
| 1. BP – 01 (POME) | = Bak Penampung 1 (POME) |
| 2. SL – 01 (CaO) | = Silo Penyimpanan CaO |
| 3. M – 01 | = Mixer |
| 4. R – 01 | = Reaktor |
| 5. AB – 01 | = Absorber |
| 6. CN – 01 | = Centrifuge |
| 7. BP – 02 | = Bak Penampung 2 (Pupuk Organik) |
| 8. WT – 01 | = Water Trap |
| 9. GE – 01 | = Gas Engine |
| 10. F – 01 | = Flare |

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) yang akan didirikan ini direncanakan mempunyai bentuk usaha Perseroan Terbatas (PT). Lapangan usaha yang dituju yaitu industri biogas dan pembangkitan listrik serta berlokasi di Kecamatan Namang, Kabupaten Bangka Tengah. Menurut Undang-Undang No. 40 tahun 2007, perseroan terbatas adalah badan hukum yang merupakan persekutuan modal, didirikan berdasarkan perjanjian, melakukan kegiatan usaha dengan modal dasar yang seluruhnya terbagi dalam saham, dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Undang-Undang ini serta peraturan pelaksanaannya. Perseroan Terbatas (PT) merupakan bentuk perusahaan yang mendapatkan modalnya dari

penjualan saham dimana tiap sekutu turut mengambil bagian sebanyak satu saham atau lebih.

Saham adalah surat berharga yang dikeluarkan oleh perusahaan atau PT tersebut dan orang yang memiliki saham badan hukum itu berarti telah menyetorkan modal keperusahaan, yang berarti pula ikut memiliki perusahaan. Dalam perseroan Terbatas (PT) pemegang saham hanya bertanggung jawab menyetor penuh jumlah yang disebutkan dalam tiap saham.

Perusahaan – perusahaan skala besar, biasanya menggunakan bentuk Perseroan Terbatas (PT/korporasi), Perseroan Terbatas (PT) merupakan asosiasi pemegang saham yang diciptakan berdasarkan hukum dan dianggap sebagai badan hukum. Alasan dipilihnya bentuk perusahaan (PT) ini adalah didasarkan beberapa faktor sebagai berikut:

- Mudah mendapatkan modal, yaitu dengan menjual saham perusahaan.
- Tanggung jawab pemegang saham terbatas, sehingga kelancaran produksi hanya dipegang oleh pengurus perusahaan.
- Pemilik dan pengurus perusahaan terpisah satu sama lain. Pemilik perusahaan adalah pemegang saham, sedangkan pengurus perusahaan adalah direksi beserta staf yang diawasi oleh dewan komisaris.
- Kelangsungan hidup perusahaan lebih terjamin, karena tidak berpengaruh dengan berhentinya pemegang saham, direksi beserta stafnya atau karyawan perusahaan.
- Efisiensi manajemen, para pemegang saham duduk dalam dewan komisaris.

- Para pemegang saham dapat memilih orang yang ahli sebagai dewan komisaris dan direktur yang cukup cakap dan berpengalaman.
- Lapangan usaha lebih luas.
- Suatu PT dapat menarik modal yang sangat besar dari masyarakat, sehingga dengan modal ini PT dapat memperluas usahanya.
- Merupakan badan usaha yang memiliki kekayaan tersendiri yang terpisah dari kekayaan pribadi.
- Mudah mendapatkan kredit dari bank dengan jaminan perusahaan.
- Mudah bergerak di pasar global.

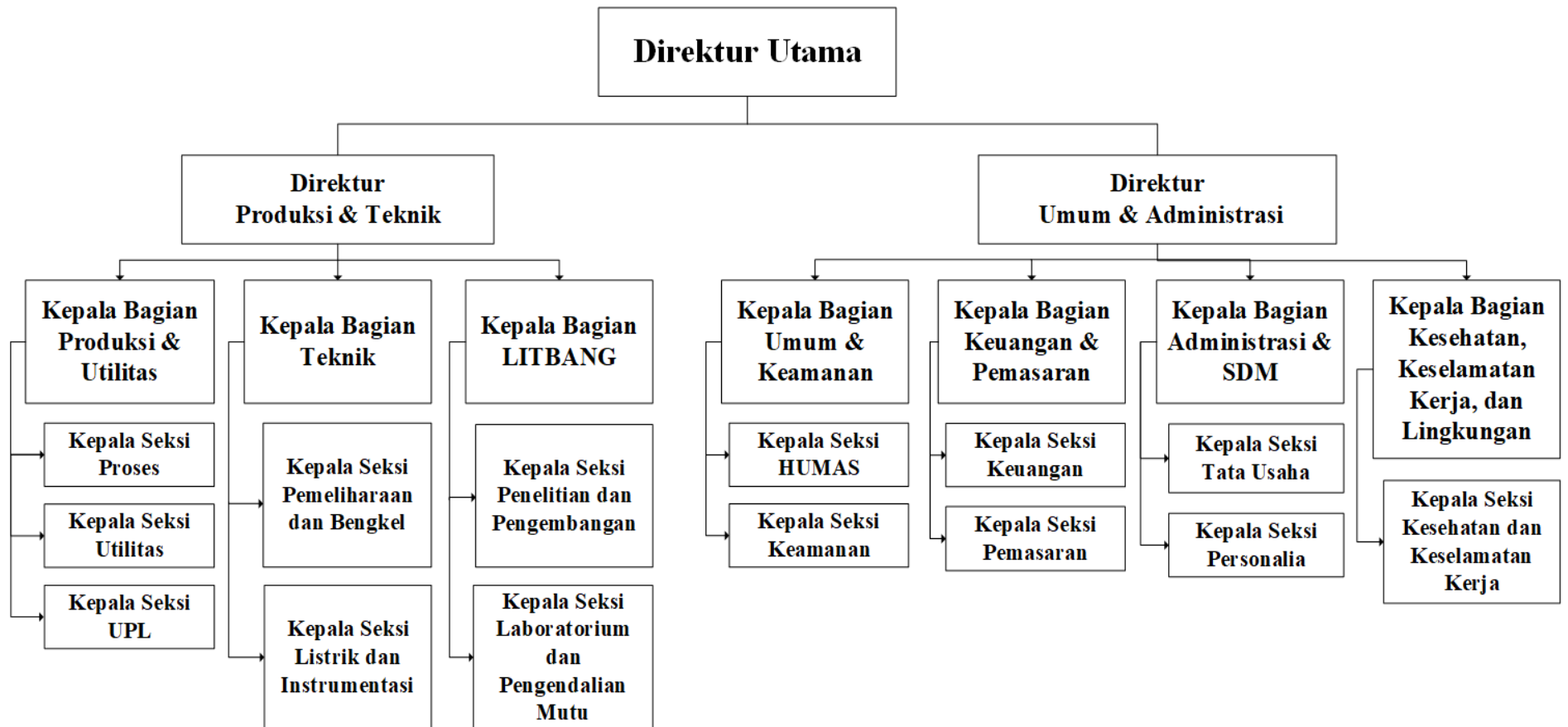
4.4.2 Struktur Organisasi

Organisasi merupakan suatu wadah atau alat dimana orang – orang yang mempunyai satu visi melakukan kegiatan untuk mencapai tujuan yang diharapkan. Struktur organisasi merupakan salah satu faktor penting yang dapat menunjang kelangsungan dan kemajuan perusahaan demi tercapainya kerja sama yang baik antar karyawan. Selain itu struktur organisasi juga sebagai gambaran secara sistematis tentang tugas dan tanggung jawab serta hubungan antara bagian – bagian dalam perusahaan..

Sistem struktur organisasi yang digunakan pada perusahaan ini adalah *line and staff system organization* (sistem garis). Pada sistem struktur organisasi ini mempunyai garis wewenang yang lebih sederhana, praktis, dan tegas dalam pembagian tugas kerja sehingga seorang karyawan hanya akan bertanggung jawab pada seorang atasan saja. Alur kekuasaannya secara langsung dari direksi kemudian ke kepala bagian, ke kepala seksi, lalu diteruskan ke staf karyawan. Pada bawah staf

karyawan dilengkapi dengan staff ahli yang memiliki tugas memberi saran kepada direktur. Manfaat adanya struktur organisasi tersebut adalah sebagai berikut:

- Menjelaskan wewenang pembatasan tugas, tanggung jawab dan wewenang yang jelas.
- Suatu keputusan dari pimpinan dapat cepat diambil dan lebih cepat dalam pemberian perintah, karena perintah tersebut dapat diberikan langsung kepada bawahan yang bersangkutan
- Terdapat pengontrolan anggaran biaya, karena pimpinan di berbagai kegiatan hanya dipegang oleh satu orang saja.



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi Pabrik

4.4.3 Tugas dan Wewenang

a. Pemegang Saham

Pemegang saham (pemilik perusahaan) adalah beberapa orang yang mengumpulkan modal untuk kepentingan pendirian dan berjalannya operasi perusahaan tersebut. Kekuasaan tertinggi pada perusahaan yang mempunyai bentuk Perseroan Terbatas (PT) adalah Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) yang biasanya dilakukan setahun sekali. Pada Rapat Umum Pemegang Saham, para pemegang saham berhak :

- Mengangkat dan memberhentikan dewan komisaris.
- Mengangkat dan memberhentikan direktur.
- Mengesahkan hasil – hasil usaha serta neraca perhitungan untung rugi tahunan dari perusahaan.

b. Dewan Komisaris

Dewan komisaris merupakan pelaksana dari para pemilik saham, sehingga dewan komisaris akan bertanggung jawab terhadap pemilik saham, meliputi:

- Menilai dan menyetujui rencana direktur utama tentang kebijaksanaan umum, target laba perusahaan, alokasi dana dan pengarahan pemasaran.
- Mengawasi tugas – tugas direktur utama.
- Membantu direktur utama dalam tugas – tugas penting.

c. Direktur Utama

Direktur utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan dan bertanggung jawab sepenuhnya terhadap kemajuan perusahaan dan perwakilan para pemegang saham dalam perusahaan. Direktur utama bertanggung jawab pada

dewan komisaris atas segala tindakan dan kebijaksanaan yang telah diambil sebagai pimpinan perusahaan. Direktur utama membawahi Direktur Produksi & Teknik, serta Direktur Umum & Administrasi. Direktur utama membawahi:

- **Direktur Produksi & Teknik**

Tugas Direktur Produksi & Teknik adalah memimpin pelaksanaan kegiatan pabrik yang berhubungan dengan bidang produksi dan operasi, teknik, pengembangan, pemeliharaan peralatan, pengadaan, dan laboratorium. Direktur Produksi & Teknik bertanggung jawab kepada Direktur Utama dalam Bidang Produksi & Utilitas, Bidang Teknik (Pemeliharaan, Listrik, dan Instrumentasi), serta Bidang LITBANG (Penelitian, Pengembangan, dan Pengendalian Mutu).

- **Direktur Umum & Administrasi**

Tugas Direktur Umum & Administrasi adalah bertanggung jawab terhadap masalah – masalah yang berhubungan dengan administrasi, pemasaran, humas & keamanan, dan keselamatan kerja.

d. Kepala Bagian

Tugas kepala bagian adalah mengkoordinir, mengatur, dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan garis – garis wewenang yang diberikan oleh pimpinan perusahaan. Kepala bagian dapat juga bertindak sebagai staf direktur. Kepala bagian ini bertanggung jawab kepada direktur masing – masing. Kepala bagian terdiri dari:

- **Kepala Bagian Produksi & Utilitas**

Tugas : Mengatur dan menjaga kelancaran unit proses dan unit utilitas agar

rate production pabrik tercapai dengan mengatur jalannya proses produksi, penyediaan bahan baku, dan pengendalian terhadap kelancaran proses produksi.

- **Kepala Bagian Teknik (Pemeliharaan, Listrik, dan Instrumentasi)**

Tugas : Bertanggung jawab terhadap pengelolaan pabrik secara teknis yang meliputi pemeliharaan, perawatan, dan penyediaan fasilitas alat penunjang kegiatan produksi, suku cadang, gudang, instrumentasi dan lainnya.

- **Kepala Bagian LITBANG (Penelitian, Pengembangan, dan Pengendalian Mutu)**

Tugas : Mengkoordinasikan kegiatan yang berhubungan dengan penelitian, pengembangan perusahaan, dan pengawasan mutu produksi dan produk.

- **Kepala Bagian Umum & Keamanan**

Tugas : Bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berhubungan antara perusahaan dan masyarakat serta menjaga keamanan perusahaan.

- **Kepala Bagian Keuangan & Pemasaran**

Tugas : Bertanggung jawab dalam mengkoordinasikan pengelolaan bidang keuangan dan pemasaran, termasuk pembelian bahan baku, bahan pembantu, dan penjualan hasil.

- **Kepala Bagian Administrasi & Sumber Daya Alam (SDM)**

Tugas : Mengkoordinasikan pengelolaan bidang administrasi atau

ketatausahaan, seperti pengumpulan data perusahaan, tulis – menulis, keuangan, serta mengelola kepegawaian.

- **Kepala Bagian Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan**

Tugas : Bertanggung jawab terhadap keamanan pabrik, kesehatan, keselamatan kerja karyawan, dan pelatihan K3.

e. **Kepala Seksi**

Seksi adalah pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan rencana yang telah diatur oleh para kepala bagian masing – masing. Setiap Seksi bertanggung jawab terhadap kepala bagian masing – masing.

- **Kepala Seksi Proses**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian produksi dan utilitas dalam memimpin dan memantau kelancaran proses produksi.

- **Kepala Seksi Utilitas**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian produksi dan utilitas dalam penyediaan air, bahan bakar baik untuk proses maupun instrumenasi.

- **Kepala Seksi UPL**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian produksi dan utilitas dalam mengatur teknis dibidang Unit Pengolahan Limbah.

- **Kepala Seksi Bengkel & Pemeliharaan Pabrik**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian teknik dalam kegiatan pemeliharaan, perawatan, dan penggantian alat – alat yang sudah tidak layak pakai serta fasilitas pendukungnya.

- **Kepala Seksi Listrik & Instrumentasi**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian teknik dalam penyediaan listrik serta kelancaran alat – alat instrumentasi.

- **Kepala Seksi Penelitian dan Pengembangan**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian LITBANG dalam mengkoordinasi kegiatan – kegiatan yang berhubungan dengan peningkatan produksi dan efisiensi proses secara keseluruhan.

- **Kepala Seksi Laboratorium dan Pengendalian Mutu**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian LITBANG dalam menyelenggarakan pengendalian mutu untuk bahan baku, bahan pembantu, produk, dan limbah. Serta pengawasan dan analisa produksi.

- **Kepala Seksi Humas & Keamanan**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian umum dan keamanan dalam menyelenggarakan kegiatan yang berkaitan dengan relasi perusahaan, pemerintah, dan masyarakat. Serta mengawasi langsung masalah keamanan perusahaan.

- **Kepala Seksi Keuangan**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian keuangan dan pemasaran dalam pembukuan serta hal – hal yang berkaitan dengan keuangan perusahaan.

- **Kepala Seksi Pemasaran**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian keuangan dan pemasaran dalam mengkoordinasikan kegiatan pemasaran produk dan perencanaan bahan baku pabrik dan strategi bisnis pada dinamika pasar dan perilaku konsumen pada rumah tangga perusahaan agar meningkatkan kinerja pemasaran.

- **Kepala Seksi Tata Usaha**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian administrasi dan SDM dalam pengelolaan administrasi atau ketatausahaan, seperti pengumpulan data perusahaan, tulis – menulis, keuangan.

- **Kepala Seksi Personalia**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian administrasi dan SDM dalam mengkoordinasikan kegiatan yang berhubungan dengan kepegawaian dan pengembangan sumber daya manusia di perusahaan.

- **Seksi K3 (Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan)**

Tugas : Bertanggung jawab kepada kepala bagian Kesehatan, keselamatan kerja, dan lingkungan dalam mengurus masalah kesehatan karyawan dan keluarga, serta menangani masalah keselamatan kerja di perusahaan.

4.4.4 Jadwal Kerja Karyawan

Pabrik Biogas dari limbah makanan akan beroperasi 330 hari selama satu tahun dalam 24 jam per hari. Sisa hari yang bukan merupakan hari libur (*shut down*) digunakan untuk perbaikan, perawatan atau *turn around*. Menurut Undang-Undang Pasal 77 Ayat 1 Nomor 13 Tahun 2003, pembagian jam kerja karyawan terbagi menjadi karyawan *shift* dan *non – shift* dengan jumlah jam kerja 40 dan 48 jam tiap minggu. Pembagian jam kerja karyawan tersebut digolongkan menjadi dua golongan, yaitu :

a. Karyawan Non – *Shift*

Bekerja selama 7 jam/hari dengan total kerja 40 jam/minggu. Sedangkan hari minggu dan hari besar libur. Karyawan non – *shift* adalah para karyawan yang tidak menangani proses produksi secara langsung maupun pengamanan pabrik. Yang termasuk para karyawan *non-shift* adalah Direktur Utama, (Direktur Produksi & Teknik), (Direktur Umum & Administrasi), Kepala bagian serta bawahan yang berada di kantor. Berikut adalah ketentuan jam kerja karyawan non – *shift* dalam sepekan sampai hari Senin sampai Jum'at, yaitu :

Hari	Pukul (WIB)
Senin – Kamis	07.00 – 16.00 (Istirahat 12.00 – 13.00)
Jum'at	07.00 – 16.00 (Istirahat 11.30 – 13.30)
Minggu	Libur, termasuk hari libur nasional

b. Karyawan *Shift*

Karyawan *shift* adalah karyawan yang langsung menangani proses produksi atau mengatur bagian – bagian tertentu dari pabrik yang mempunyai hubungan dengan masalah keamanan dan kelancaran produksi secara langsung, sehingga tidak dapat ditinggalkan. Yang termasuk karyawan *shift* ini adalah bagian teknis, bagian operator produksi, bagian gudang dan bagian utilitas. Pengendalian, laboratorium, termasuk petugas keamanan yang menjaga keamanan selama proses produksi berlangsung, sehingga tidak boleh ditinggal.

Berikut ketentuan jam kerja pegawai shift sebagai berikut :

<i>Shift I (pagi)</i>	: 07.00 – 16.00 WIB
<i>Shift II (siang)</i>	: 16.00 – 00.00 WIB
<i>Shift III (malam)</i>	: 00.00 – 07.00 WIB

Pembagian kelompok grup kerja *shift* dibagi menjadi 3 *shift* sehari, masing – masing bekerja selama 9 jam, sehingga dibentuk 4 grup (A/B/C/D), dimana Pergantian jam kerja kelompok shift dilakukan setiap 3 hari kerja dengan maksimal hari bekerja yaitu 3 hari dan diikuti 1 hari libur. Pembagian *shift* dilakukan dalam 4 grup, dimana 3 grup mendapatkan giliran shift dan 1 grup libur. Jam pembagian *shift* kerja masing – masing ditampilkan pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Jadwal Pembagian Shift Kerja Karyawan

Grup	Hari														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	I	I	I		II	II	II		III	III	III		I	I	I
B		II	II	II		III	III	III		I	I	I		II	II
C	II		III	III	III		I	I	I		II	II	II		III
D	III	III		I	I	I		II	II	II		III	III	III	

Lanjutan Tabel 4. 2 Jadwal Pembagian *Shift* Kerja Karyawan

Grup	Hari														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A		II	II	II		III	III	III		I	I	I		II	II
B	II		III	III	III		I	I	I		II	II	II		III
C	III	III		I	I	I		II	II	II		III	III	III	
D	I	I	I		II	II	II		III	III	III		I	I	I

Keterangan :

1, 2, 3, dst . . . : Hari ke –

A, B, C, dan D : Grup kerja

I, II, dan III : Shift ke –



: Libur

4.4.5 Fasilitas Karyawan

Tersedia fasilitas yang memadai dapat meningkatkan kelangsungan produktifitas karyawan dalam suatu perusahaan. Adanya fasilitas dalam perusahaan bertujuan agar kondisi jasmani dan rohani karyawan tetap terjaga dengan baik, sehingga karyawan tidak merasa jenuh dalam menjalankan tugas sehari – harinya dan kegiatan yang ada dalam perusahaan dapat berjalan dengan lancar. Sehubungan dengan hal tersebut, maka perusahaan menyediakan fasilitas yang bermanfaat dalam lingkungan perusahaan yang berhubungan dengan kepentingan para karyawan. Adapun fasilitas yang diberikan perusahaan adalah:

a. Poliklinik

Untuk meningkatkan efisiensi produksi, faktor kesehatan karyawan merupakan hal yang sangat berpengaruh. Oleh karena itu perusahaan menyediakan fasilitas poliklinik yang ditangani oleh Dokter dan Perawat.

b. Pakaian Kerja

Untuk menghindari kesenjangan antara karyawan, perusahaan memberikan dua pasang pakaian kerja setiap tahun, selain itu juga disediakan masker sebagai alat pengaman kerja.

c. Makan dan Minum

Perusahaan menyediakan makan dan minum satu kali sehari yang akan dikelola oleh perusahaan *catering* yang ditunjuk oleh perusahaan.

d. Koperasi

Koperasi karyawan didirikan untuk mempermudah karyawan dalam hal simpan pinjam, memenuhi kebutuhan pokok, serta kebutuhan lainnya.

e. Tunjangan

- Tunjangan yang berupa gaji pokok yang diberikan berdasarkan golongan karyawan yang bersangkutan.
- Tunjangan jabatan yang diberikan berdasarkan golongan karyawan yang bersangkutan.
- Tunjangan Hari Raya (THR) diberikan setiap tahun, yaitu menjelang hari raya Idul Fitri sebesar satu bulan gaji.

f. BPJS Ketenagakerjaan

Merupakan asuransi pertanggungan jiwa dan asuransi kecelakaan.

g. Masjid dan Kegiatan Kerohanian

Perusahaan membangun tempat ibadah (masjid) agar karyawan dapat menjalankan kewajiban rohaninya dan melaksanakan aktifitas keagamaan.

h. Transportasi

Untuk meningkatkan produktifitas dan memperingan beban pengeluaran karyawan, perusahaan memberikan uang transport tiap hari yang penyerahannya bersamaan dengan penerimaan gaji tiap bulan.

i. Hak Cuti

- **Cuti Tahunan**

Diberikan kepada karyawan selama 12 hari kerja dalam 1 tahun. Bila dalam waktu 1 tahun hak cuti tersebut tidak dipergunakan maka hak tersebut akan hilang untuk tahun itu.

- **Cuti Massal**

Setiap tahun diberikan cuti massal untuk karyawan bertepatan

dengan hari raya Idul Fitri selama 4 hari kerja.

- **Cuti Sakit**

Diberikan kepada setiap karyawan yang menderita sakit berdasarkan keterangan dokter

- j. **Kenaikan Gaji dan Promosi**

- Kenaikan gaji dilakukan setiap akhir tahun dengan memperhatikan besarnya inflasi, prestasi kerja dan lain – lain.
- Promosi dilakukan setiap akhir tahun dengan memperhatikan Pendidikan, prestasi kerja, dan lain – lain.

4.4.6 Status Karyawan dan Sistem Gaji

- a. **Status Karyawan**

Pada pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) ini pemberian gaji karyawan berbeda – beda tergantung pada status karyawan, kedudukan, tanggung jawab, dan keahlian. Pembagian karyawan pabrik ini dapat dibagi menjadi tiga golongan antara lain:

- **Karyawan Tetap**

Karyawan yang diangkat dan diberhentikan dengan Surat Keputusan (SK) direksi dan mendapat gaji bulanan sesuai dengan kedudukan, keahlian dan masa kerja

- **Karyawan Harian**

Karyawan yang diangkat dan diberhentikan tanpa Surat Keputusan (SK) direksi dan mendapat upah harian yang dibayar tiap akhir pekan.

- **Karyawan Borongan**

Karyawan yang digunakan oleh pabrik/perusahaan bila diperlukan saja.

Karyawan ini menerima upah borongan untuk suatu pekerjaan.

b. Sistem Gaji Karyawan

Pemberian upah yang akan dibayarkan kepada pekerja direncanakan diatur menurut tingkatan pendidikan, status pekerjaan, dan tingkat golongan. Upah minimum pekerja tidak kurang dari upah minimum kota yang diberlakukan oleh pemerintah (Upah Minimum Regional) dan pelaksanaannya sesuai ketentuan yang berlaku pada perusahaan. Tingginya golongan yang disandang seorang karyawan menentukan besarnya gaji pokok yang diterima oleh karyawan tersebut. Karyawan akan mendapatkan kenaikan golongan secara berkala menurut masa kerja, jenjang pendidikan dan prestasi karyawan. Sistem pembagian gaji pada perusahaan terbagi menjadi 3 jenis yaitu:

- **Gaji Bulanan**

Gaji yang diberikan kepada pegawai tetap dengan jumlah sesuai peraturan perusahaan.

- **Gaji Harian**

Gaji yang diberikan kepada karyawan tidak tetap atau buruh harian.

- **Gaji Lembur**

Gaji yang diberikan apabila pegawai melebihi jam kerja pokok.

Penentuan jumlah karyawan harus dilakukan secara tepat sehingga semua pekerjaan dapat diselesaikan dengan baik dan efisien. Jumlah dan gaji karyawan di pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) ini berdasarkan jabatannya dapat dilihat pada Tabel 4. 3.

Tabel 4. 3 Daftar Gaji Karyawan

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji/orang (Rp)	Gaji/bulan (Rp)
1	Direktur Utama	1	Rp40.000.000	Rp40.000.000
2	Direktur Produksi & Teknik	1	Rp35.000.000	Rp35.000.000
3	Direktur Umum & Administrasi	1	Rp35.000.000	Rp35.000.000
4	Ka. Bag. Produksi dan Utilitas	1	Rp25.000.000	Rp25.000.000
5	Ka. Bag. Teknik (Pemeliharaan, Listrik dan Instrumentasi)	1	Rp25.000.000	Rp25.000.000
6	Ka. Bag. LITBANG (Penelitian, Pengembangan dan Pengendalian Mutu)	1	Rp25.000.000	Rp25.000.000
7	Ka. Bag. Keuangan dan Pemasaran	1	Rp25.000.000	Rp25.000.000
8	Ka. Bag. Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan	1	Rp25.000.000	Rp25.000.000
9	Ka. Bag. Administrasi dan Sumber Daya Manusia	1	Rp25.000.000	Rp25.000.000
10	Ka. Bag. Umum dan Keamanan	1	Rp25.000.000	Rp25.000.000
11	Ka. Sek. Proses	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
12	Ka. Sek. Utilitas	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
13	Ka. Sek. Pemeliharaan dan Bengkel	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
14	Ka. Sek. Listrik dan Instrumentasi	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
15	Ka. Sek. Penelitian dan Pengembangan	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
16	Ka. Sek. Laboratorium dan Pengendalian Mutu	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
17	Ka. Sek. Keuangan	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
18	Ka.Sek.Pemasaran	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
19	Ka. Sek. Kesehatan dan Keselamatan Kerja	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
20	Ka. Sek. Unit Pengolahan	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000

	Limbah			
21	Ka. Sek. Tata Usaha	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
22	Ka. Sek. Personalia	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
23	Ka. Sek. Hubungan Masyarakat	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
24	Ka. Sek. Keamanan	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
25	Karyawan Proses	5	Rp4.000.000	Rp20.000.000
26	Karyawan Utilitas	4	Rp4.000.000	Rp16.000.000
27	Karyawan. Pemeliharaan dan Bengkel	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
28	Karyawan Listrik dan Instrumentasi	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
29	Karyawan Penelitian dan Pengembangan	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
30	Karyawan Laboratorium dan Pengendalian Mutu	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
31	Karyawan Kesehatan dan Keselamatan Kerja	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
32	Karyawan Unit Pengolahan Limbah	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
33	Karyawan Tata Usaha	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
34	Karyawan Personalia	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
35	Karyawan Hubungan Masyarakat	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
36	Karyawan Keamanan	6	Rp4.000.000	Rp24.000.000
37	Karyawan Keuangan	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
38	Karyawan Pemasaran	2	Rp4.000.000	Rp8.000.000
39	Operator	15	Rp4.500.000	Rp67.500.000
40	Dokter	1	Rp5.000.000	Rp5.000.000
41	Perawat	3	Rp3.500.000	Rp10.500.000
42	Sopir	5	Rp2.500.000	Rp12.500.000
43	Cleaning Service	8	Rp2.000.000	Rp16.000.000
44	Karyawan Pemadam Kebakaran	5	Rp3.000.000	Rp15.000.000
Total		98	Rp641.500.000	Rp839.500.000

Gaji karyawan dibayarkan pada tanggal 1 tiap bulannya. Bila tanggal tersebut hari libur maka pembayaran gaji akan dilakukan sehari sebelumnya.

BAB V

UTILITAS

Unit penyediaan air merupakan unit utilitas penting yang dibutuhkan dalam proses suatu pabrik dalam penyediaan air untuk memenuhi kebutuhan industri. Unit utilitas ini akan mempengaruhi suatu proses produksi dari awal sampai akhir proses. Dalam perancangan pabrik pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg), air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air didalam pabrik yaitu dengan memanfaatkan sungai yang cukup dekat dengan lokasi pabrik sebagai sumber air yaitu sungai kurau. Air sungai ini akan diolah sebelum digunakan agar memenuhi standar kelayakan untuk digunakan dalam industri yaitu *Polished Water*. Alasan menggunakan air sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air adalah :

- a. Pengolahan air sungai membutuhkan biaya yang relatif murah, proses pengolahan yang relatif mudah dan sederhana. Sedangkan air laut lebih rumit dan biaya pengolahan biasanya lebih tinggi.
- b. Air sungai merupakan sumber kontinyu yang tinggi, maka kekurangan air dapat dihindari.
- c. Jumlah air sungai lebih banyak dibandingkan dengan air sumur.
- d. Letak sungai berada tidak jauh dari lokasi pabrik.

Kebutuhan air dalam pabrik pembangkit listrik tenaga biogas :

- a. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)
- b. Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)
- c. Unit Pengolahan Limbah

5.1 Unit Penyediaan Air dan Pengolahan Air (Water Treatment System)

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Kebutuhan air diperoleh dari sungai yang terdekat dari lokasi pabrik, yaitu sungai Kurau. Air sungai ini diolah terlebih dahulu sebelum digunakan sesuai keperluannya sehingga memenuhi persyaratan. Alasan menggunakan air sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air adalah :

- a. Pengolahan air sungai membutuhkan biaya yang relatif murah, proses pengolahan yang relatif mudah dan sederhana. Sedangkan air laut lebih rumit dan biaya pengolahan biasanya lebih tinggi.
- b. Air sungai merupakan sumber kontinyu yang tinggi, maka kekurangan air dapat dihindari.
- c. Jumlah air sungai lebih banyak dibandingkan dengan air sumur.
- d. Letak sungai berada tidak jauh dari lokasi pabrik.

Air sungai yang diperoleh dari hasil pengolahan air Sungai Kurau yang akan digunakan untuk keperluan pabrik pembangkit listrik ini sebagai :

a. Air Proses

Air proses adalah air yang digunakan untuk keperluan pengolahan proses dalam kelancaran proses produksi industri. Air tersebut biasanya digunakan sebagai penyuplai kebutuhan air selama alat proses berjalan dari awal sampai akhir proses. Sehingga, tidak akan mengalami pemberhentian ditengah – tengah proses yang sedang berlangsung.

b. Air Domestik / Sanitasi (*Domestic Water*)

Air domestik adalah air yang digunakan untuk keperluan domestik. Air tersebut biasanya digunakan sebagai keperluan perumahan, perkantoran,

laboratorium, masjid. Sehingga, air domestik harus memenuhi kelayakan kualitas, yaitu :

- Syarat fisika :

Suhu : Dibawah suhu udara

Warna : Jernih

Bau & Rasa : tidak berbau dan berasa

- Syarat kimia :

Air ini tidak mengandung zat organik dan anorganik terlarut seperti PO_4^{3-} , Hg, Cu, dsb.

- Syarat bakteriologis :

Selain itu, tidak mengandung bakteri seperti bakteri *pathonogen* yang dapat merubah sifat fisis air.

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Adapun tahap – tahapan pengolahan air sungai secara umum sebagai berikut :

a. Penyaringan awal (*Screening*)

Tahapan awal yang harus dilakukan pada air sungai yaitu harus melewati pembersihan awal dengan cara dialirkan ke tempat penyaringan awal (*screening*) menggunakan pompa untuk menahan kotoran – kotoran yang berukuran besar seperti kayu, ranting, lumpur, daun, dan sampah rumah tangga lainnya.

b. Penampungan (*Reservoir*)

Tahapan kedua, setelah air sungai melewati penyaringan awal (*screening*), kemudian dialirkan ke dalam *reservoir* untuk diendapkan

pada bak pengendap di penampungan. Pada proses ini akan terjadi suatu pemisahan gumpalan - gumpalan dari kotoran air sungai yang masih lolos melewati penyaringan awal tadi dengan cara pengendapan gravitasi. Selanjutnya dialirkan ke bak penggumpal yang dilengkapi dengan pengaduk.

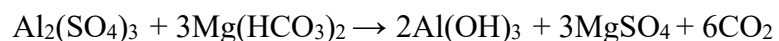
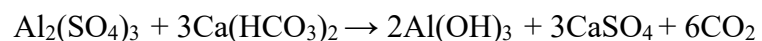
c. Penggumpalan (Koagulasi & Flokulasi)

Tahapan kedua, air sungai yang telah diendapkan pada bak pengendap, kemudian dialirkan ke bak penggumpal. Dalam proses ini bertujuan untuk menggumpalkan koloid - koloid yang sudah tersuspensi dalam larutan yang tidak mengendap secara sempurna dengan cara menambahkan bahan-bahan kimia. Bahan kimia yang digunakan sebagai flokulan yaitu meliputi :

- Tawas/Alumunium Sulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Fungsi : Sebagai koagulan yang dapat mempercepat pengendapan gumpalan/*sludge* (flok), yang dimana dapat mengikat zat besi yang terlarut dengan membentuk gumpalan – gumpalan.

Reaksi :



- Larutan Kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Fungsi : Sebagai pengikat garam – garam yang sudah terlarut dalam air sungai karena membuat suasana basa sehingga mempermudah

proses penggumpalan dan menghilangkan kesadahan karbonat dalam air.

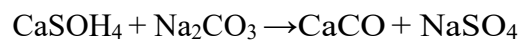
Reaksi :

1. $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{HO}_2$
2. $\text{Mg(HCO}_3)_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{MgCO}_3 + \text{CaCO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
3. $\text{MgCO}_3 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_2 + \text{Mg(OH)}_2$
4. $\text{Ca(HCO}_3)_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

- Natrium Carbonat (Na_2CO_3)

Fungsi : Sebagai senyawa untuk mengurangi/menghilangkan kesadahan dari senyawa – senyawa non karbonat.

Reaksi :



Selanjutnya, air diaduk dengan menggunakan putaran tinggi sehingga air bersih akan keluar dari bagian pinggir secara overflow.

Sedangkan, untuk gumpalan/*sludge* (flok) yang terbentuk akan mengalami pengendapan secara gravitasi dan di *blowdown* secara berkala dalam waktu yang telah ditentukan.

d. Bak Pengendap I dan II

Tahapan keempat ini ditujukan untuk bak pengendap yang akan mengendapkan endapan berbentuk *sludge* yang terbawa dari air sungai menggunakan proses flokulasi yaitu dengan menghilangkan flokulasi. Endapan serta flok tersebut berasal dari proses koagulasi, selanjutnya akan mengalami pengendapan pada bak pengendap I dan II.

e. Bak penyaring (*Sand Filter*)

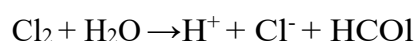
Tahapan kelima, setelah air sungai melewati tahap penggumpalan, selanjutnya akan dialirkan ke bak penyaringan menggunakan alat *sand filter* yang berisi pasir untuk dilakukan filtrasi. Dalam tahap ini bertujuan untuk menyaring partikel-partikel halus yang masih terdapat didalam air dan belum terendapkan. Unit ini berfungsi untuk menghilangkan mineral – mineral yang terkandung di dalam air, seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , dan lain – lain dengan menggunakan resin.

f. Bak Penampung Air Bersih (Bak Sementara)

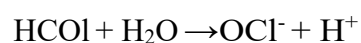
Tahapan keenam, selanjutnya air sungai dari bak penyaring akan dialirkan ke tangki penampung untuk didistribusikan sebagai air penggunaan umum (*service water*) dan sanitasi, air umpan boiler, air pendingin dan air proses.

g. Tangki karbon aktif (*Klorinasi*)

Tahapan ketujuh, air sungai harus ditambahkan dengan klor atau kaporit agar membunuh kuman dan mikroorganisme seperti amuba, ganggang dan mikroorganisme lain yang terkandung didalam air, sehingga aman untuk dikonsumsi. Klorin dipilih karena zat kimia yang sering dipakai dan harganya relatif murah. Klorin dalam air membentuk asam hipoklorit, reaksi sebagai berikut :



Asam hipoklorid pecah sesuai reaksi berikut :



Sehingga, air dapat dialirkan ke tangki air bersih untuk keperluan air domestik seperti air minum dan perkantoran.

h. Proses Demineralisasi

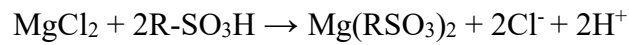
Tahapan kedelapan, untuk air umpan boiler di reaktor harus murni dan bebas dari garam – garam terlarut, sehingga perlu dilakukan proses demineralisasi. Alat proses untuk demineralisasi terdiri atas penukar kation (*cation exchanger*) dan penukar anion (*anion exchanger*) yang berfungsi untuk menghilangkan mineral – mineral yang terkandung dalam air seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- dan lain – lain, dengan menggunakan resin. Maka, air yang diperoleh adalah air bebas mineral yang akan diproses lebih lanjut menjadi air umpan boiler.

Dalam proses *Cation Exchanger* dan *Anion Exchanger* berlangsung pada Resin Mixed Bed. Resin Mixed – Bed adalah kolom resin kation dan resin anion. Apabila air yang mengandung kation dan anion bila dilewatkan ke Resin Mixed-Bed, maka kation akan terambil oleh resin kation. Sedangkan, anion akan terambil oleh resin anion. Saat resin kation dan anion telah jenuh oleh ion – ion, maka resin penukar kation dan anion akan diregenerasi kembali.

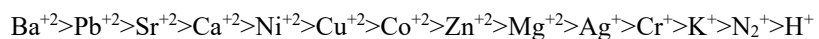
- *Tangki Cation Exchanger*

Tahapan ini berisi resin penukar kation dengan notasi RSO_3H sehingga pengganti kation – kation yang terkandung dalam air akan diganti dengan ion H^+ . Air yang keluar dari *cation exchanger* merupakan air yang mengandung anion dan ion.

Reaksi penukar *cation* :



Ion Mg^{2+} dapat menggantikan ion H^+ yang ada dalam resin karena selektivitas Mg^{2+} lebih besar dari selektivitas H^+ . Urutan selektivitas kation adalah sebagai berikut:



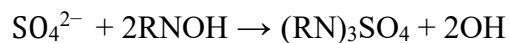
Apabila resin kation telah jenuh, maka resin penukar kation akan diregenerasi kembali. Larutan peregenerasi yang digunakan adalah NaCl. Reaksi Regenerasi:



- Tangki *Anion Exchanger*

Tahapan ini air yang keluar dari tangki *cation exchanger*, selanjutnya akan diumpankan ke tangki *anion exchanger*. Pada tangki ini berfungsi untuk menyerap ion-ion negatif terlarut dalam air dengan resin yang bersifat basa, sehingga ion-ion seperti CO_3^{2-} , Cl^- dan SO_4^{2-} akan terikat dengan resin.

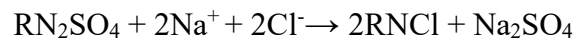
Reaksi penukar anion :



Ion SO_4^{2-} dapat menggantikan ion OH^- yang ada dalam resin karena selektivitas SO_4^{2-} lebih besar dari selektivitas OH^- . Urutan selektivitas anion adalah sebagai berikut:



Apabila resin anion telah jenuh, maka resin penukar anion akan diregenerasi kembali. Larutan peregenerasi yang digunakan adalah NaCl. Reaksi Regenerasi:

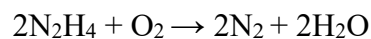


Maka, dalam waktu tertentu, anion resin akan mengalami kejenuhan.

Sehingga, diperlukan regenerasi dengan larutan NaOH.

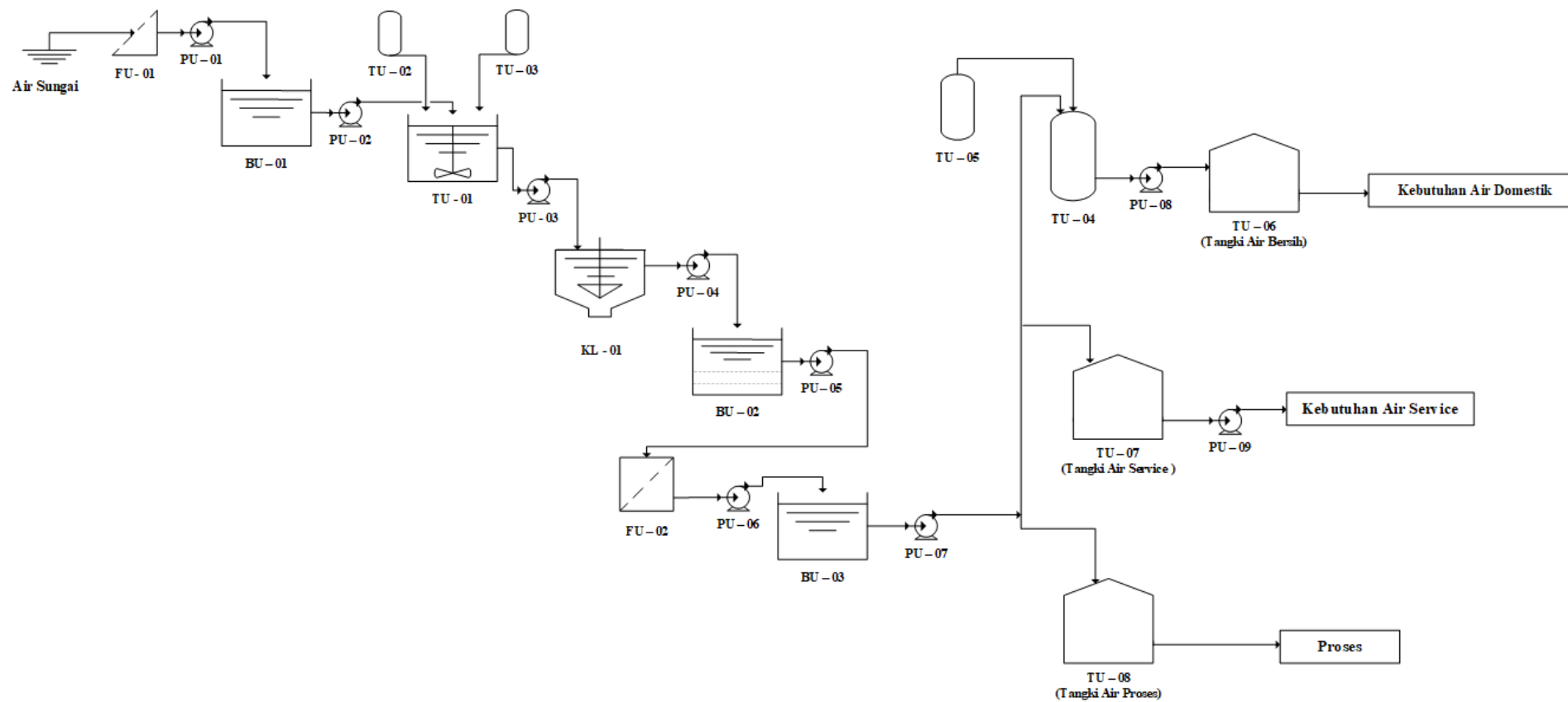
i. Deaerator

Tahapan yang terakhir yaitu Deaerator yang berfungsi untuk menghilangkan gas O₂ dan CO₂ yang dapat menimbulkan korosi pada boiler yang sudah mengalami proses demineralisasi. Sehingga diinjeksikan bahan 56 kimia berupa hidrazin N₂H₄ yang berfungsi mengikat oksigen dengan reaksi :



Air yang keluar dari deaerator dialirkan dengan pompa sebagai air umpan boiler.

5.1.3 Diagram Alir Utilitas



Gambar 5. 1 Diagram Alir Proses Pengolahan Air

Keterangan Gambar :

1. PU 01 - 09 = Pompa Utilitas
2. FU – 01 = *Screening*/Saringan
3. BU – 01 = Bak Pengendapan Awal (Sedimentasi)
4. BU – 02 = Bak Koagulasi dan Flokulasi
5. TU – 01 = Tangki Flokulator/Penggumpal
6. TU – 02 = Tangki Larutan Alum (Tawas)
7. TU – 03 = Tangki Larutan CaOH
8. KL - 01 = Bak Klarifier
9. BU - 02 = Bak Pengendapan 2
10. FU – 02 = Bak Saringan Pasir – *Sand Filter*
11. BU – 03 = Bak Penampung Air Sementara (*Raw Water*)
12. TU – 04 = Tangki Klorinasi
13. TU – 05 = Tangki Penyimpanan Kaporit
14. TU – 06 = Tangki Air Bersih
15. TU – 07 = Tangki Air Servis
16. TU – 08 = Tangki Air Proses

5.1.4 Kebutuhan Air

a. Kebutuhan Air Proses

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Proses

Nama Alat	Kode	Jumlah (kg/jam)
Mixer	M – 01	172,7994

Absorber	AB – 01	887,37
Total		1060,17

b. Kebutuhan Air Domestik (*Domestic Water*)

Kebutuhan air domestik terdiri dari kebutuhan air karyawan dan kebutuhan untuk tempat tinggal area mess.

- **Kebutuhan Air Karyawan Kantor**

Menurut standar WHO, kebutuhan air untuk 1 orang adalah 100 – 120 liter/hari, sehingga ;

Diambil kebutuhan air tiap karyawan = 100 liter/hari

Kebutuhan air tiap karyawan = 100 kg/hari

Jumlah karyawan = 98 orang

Kebutuhan air semua karyawan = 9.800 kg/hari

- **Kebutuhan Air Rumah Tangga (Mess)**

Jumlah rumah (mess) = 35 rumah

Kapasitas tiap rumah = 4 orang

Kebutuhan air 1 orang = 100 kg/hari

Total kebutuhan Rumah Tangga = 14.000 kg/hari

Total Kebutuhan Air Domestik = (9.800+14.000) kg/jam

= 23.800 kg/jam

= 992 kg/jam

- **Kebutuhan Air Servis (*Service Water*)**

Perkiraan kebutuhan air untuk pemakaian layanan umum seperti bengkel, klinik, laboratorium, pemadam kebakaran, kantin, masjid, dan kebun sebesar 490 kg/jam.

- **Total Kebutuhan Air Unit Utilitas**

Tabel 5. 2 Total Kebutuhan Air Unit Utilitas

No.	Kode	Jumlah (kg/jam)
1.	<i>Domestic Water</i>	992
2.	<i>Service Water</i>	490
3.	Air Proses	1.272,1998
Total		2753,8664

5.2 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dalam proses produksinya membutuhkan listrik sebagai utilitas utama yang mendukung jalannya suatu pabrik. Kapasitas atau kebutuhan listrik pada pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) ini didapatkan dari 2 sumber yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan generator diesel. Pada generator diesel memiliki fungsi sebagai tenaga cadangan ketika PLN sedang terjadi gangguan. Selain itu, generator diesel dapat dijadikan sebagai tenaga cadangan diesel untuk menggerakkan power – power yang dinilai penting yaitu diantaranya boiler, kompresor, dan pompa. Hal ini bertujuan agar pasokan tenaga listrik dapat berlangsung secara kontinyu meskipun ada gangguan pasokan dari PLN. Sedangkan keuntungan tenaga listrik dari PLN adalah biayanya

yang murah, lalu kerugiannya adalah adanya kesinambungan penyediaan listrik kurang terjamin dan tenaganya tidak terlalu tetap. Sehingga, apabila disediakan dengan generator diesel, akan menimbulkan kesinambungan yang akan tetap terjaga, tetapi biaya bahan bakar dan perawatannya harus diperhatikan juga. Berikut adalah spesifikasi generator diesel yang digunakan.

Kapasitas : 1023,214 kW
Jenis : Generator Diesel
Jumlah : 1 buah

Prinsip kerja dari generator diesel ini adalah solar dan udara yang terbakar secara kompresi akan menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan akan dikonversi menjadi daya untuk memutar poros engkol, lalu dihubungkan dengan generator sehingga dapat menghidupkan generator yang mampu menghasilkan tenaga listrik. Kemudian, listrik ini didistribusikan ke panel yang selanjutnya akan dialirkan ke unit pemakai. Pada operasi sehari-hari digunakan listrik PLN 100%. Tetapi apabila listrik padam, operasinya akan menggunakan tenaga listrik dari diesel 100%.

5.3 Unit Pengolahan Limbah (UPL)

Limbah yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) berupa :

1. Limbah yang mengandung bahan-bahan kimia
2. Limbah buangan sanitasi
3. Limbah *Back wash filter* air berminyak dari pompa dan kondensor
4. Limbah air sisa proses.

Pada limbah sanitasi yang berasal dari toilet yang berada di area lokasi pabrik PLTBg dan perkantoran. Limbah tersebut akan dikumpulkan dan diolah oleh diunit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif, aerasi dan injeksi klorin. Klorin tersebut berfungsi sebagai disinfektan yang dapat membunuh mikroorganisme yang menyebabkan penyakit. Sedangkan, air berminyak yang berasal dari buangan pelumas yang terdapat pada pompa dan kompresor akan dipisahkan berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Minyak yang berada dibagian atas dialirkan ke bagian penampungan terakhir kemudian dibuang.

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Dalam prarancangan pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) diperlukan evaluasi analisis ekonomi dengan tujuan untuk memperoleh estimasi tentang kelayakan investasi modal dalam suatu kegiatan produksi di suatu pabrik dan mengetahui keuntungan yang diperoleh dari pendirian pabrik yang akan didirikan. Dengan meninjau kebutuhan modal investasi, besarnya laba yang diperoleh, lamanya modal investasi yang dapat dikembalikan dan terjadinya titik impas agar pada total biaya produksi dapat setara dengan keuntungan yang akan diperoleh. Evaluasi analisis kelayakan ekonomi pada prarancangan PLTBg dapat dianalisis dengan faktor – faktor sebagai berikut :

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

Sebelum dilakukan Analisis terhadap kelima faktor diatas, sehingga perlu dilakukan perkiraan terhadap beberapa hal sebagai berikut :

1. Modal (*Capital Investment*)

- a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
- b. Modal kerja (*Working Capital Investment*)

2. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

- a. Biaya produksi langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
- b. Biaya produksi tak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
- c. Biaya tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)

3. Pengeluaran Umum (*General Cost*)

4. Analisa Kelayakan Ekonomi

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

6.1 Penaksiran Harga Peralatan

Harga peralatan proses pada setiap alat akan mengalami perubahan setiap tahunnya tergantung pada kondisi ekonomi yang ada. Maka dari itu, untuk mengetahui estimasi harga setiap alat yang ada sekarang, dapat ditaksir dari harga tahun sebelumnya berdasarkan data indeks harga yang dapat dilihat pada tabel 6.1 dibawah. Harga indeks tahun 2026 diperkirakan secara garis besar dengan data indeks dari tahun 1990 sampai 2000, dicari dengan persamaan regresi linear.

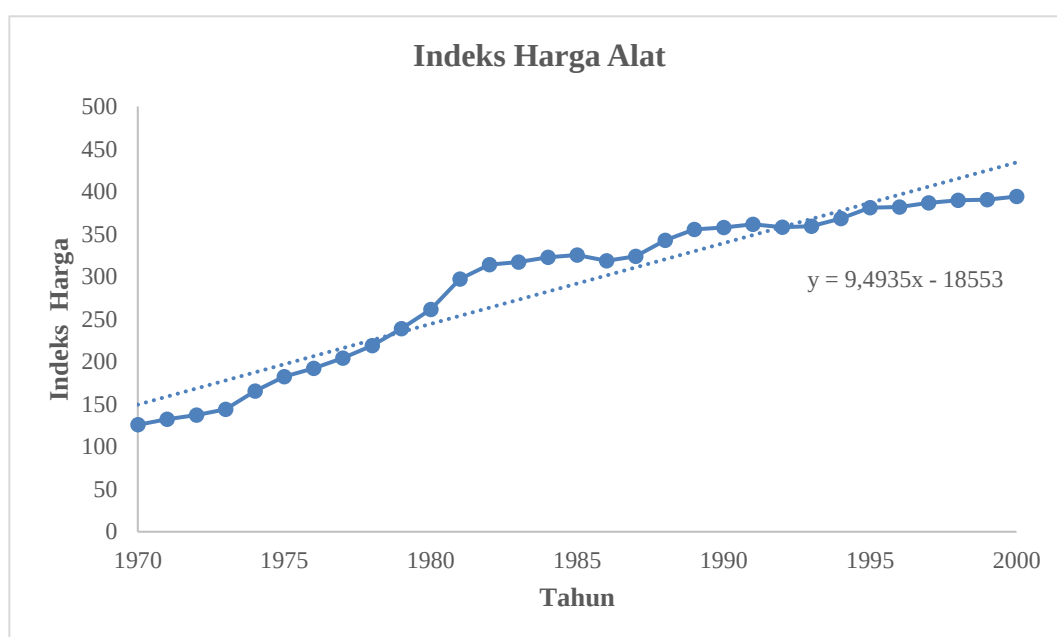
Tabel 6. 1 Data Indeks Harga Alat Proses

No.	Xi	Yi (Indeks)
1	1970	125,7
2	1971	132,3
3	1972	137,2

4	1973	144,1
5	1974	165,4
6	1975	182,4
7	1976	192,1
8	1977	204,1
9	1978	218,8
10	1979	238,7
11	1980	261,2
12	1981	297,0
13	1982	314,0
14	1983	317,0
15	1984	322,7
16	1985	325,3
17	1986	318,4
18	1987	323,8
19	1988	342,5
20	1989	355,4
21	1990	357,6
22	1991	361,3
23	1992	358,2
24	1993	359,2
25	1994	368,1
26	1995	381,1
27	1996	381,7

28	1997	386,5
29	1998	389,5
30	1999	390,6
31	2000	394,1

(Sumber : www.chemengonline.com/pci)



Gambar 6. 1 Grafik Tahun vs Indeks Harga

Berdasarkan pada tabel 6.1 data – data tersebut, maka persamaan regresi linear yang diperoleh yaitu $y = 9,4935 x - 18.553$. Pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dengan kapasitas 2,30 MWeL akan didirikan pada tahun 2028 dan akan beroperasi pada tahun 2029, maka dari persamaan regresi linear diperoleh indeks harga sebesar 699,82. Harga setiap alat dan lainnya dapat diperhitungkan pada tahun evaluasi. Selain itu, harga alat dan lainnya ditentukan juga dengan referensi (Klaus D. Timmerhaus & Max S.Peters,1991). Maka harga alat pada tahun evaluasi dapat dicari dengan persamaan :

$$Ex = Ey \cdot \frac{Nx}{Ny}$$

Keterangan :

- Ex = Harga pembelian pada tahun 2014
- Ey = Harga pembelian pada tahun referensi
- Nx = Indeks harga pada tahun 2028
- Ny = Indeks harga pada tahun referensi

6.2 Dasar Perhitungan

- Kapasitas produksi = 2,30 MWeL
- Satu tahun operasi = 330 hari
- Umur pabrik = 10 tahun
- Pabrik didirikan pada tahun = 2029
- Indeks Harga Tahun 2026 = 699,82
- Upah Buruh Asing = US\$ 15,00
- Upah Buruh Lokal = Rp. Rp15.000,00
- Kurs mata uang tahun 2024 = 1 US\$
- = Rp15.562

(CNBC Indonesia, Oktober 2024)

- UMR Bangka Belitung = Rp. 3.640.000

(DISNAKER Kep. Bangka Belitung, 2024)

6.3 Perhitungan Biaya

1. *Capital Investment* (Modal Industri Pabrik)

Capital Investment adalah biaya pengeluaran yang digunakan untuk mendirikan fasilitas dan menjalankan operasi pabrik. *Capital investment* terdiri dari :

a. *Fixed Capital Investment*

Fixed Capital Investment adalah biaya yang digunakan untuk mendirikan fasilitas penunjang pabrik.

b. *Working Capital Investment*

Working Capital Investment adalah biaya yang digunakan untuk menjalankan usaha atau modal dalam menjalankan operasi suatu pabrik selama kurun waktu tertentu.

2. *Manufacturing Cost* (Biaya Produksi)

Manufacturing Cost adalah biaya yang digunakan untuk produksi suatu pembuatan produk dalam pabrik. *Manufacturing Cost* terdiri dari :

a. *Direct Manufacturing Cost*

Direct Manufacturing Cost adalah biaya pengeluaran yang berkaitan langsung dengan pembuatan produk.

b. *Indirect Manufacturing Cost*

Indirect Manufacturing Cost adalah biaya pengeluaran sebagai akibat tidak langsung karena operasi pabrik.

c. *Fixed Manufacturing Cost*

Fixed Manufacturing Cost adalah biaya yang dikeluarkan baik pada saat pabrik beroperasi maupun tidak. Pengeluaran ini bersifat tetap dan tidak tergantung waktu, serta tingkat produksi.

3. *General Expense* (Pengeluaran Umum)

General Expense adalah biaya pengeluaran yang berkaitan dengan fungsi daripada perusahaan yang tidak termasuk dalam *Manufacturing Cost*.

6.4 Analisa Kelayakan Pabrik

Analisa Kelayakan memiliki fungsi sebagai analisis untuk mengetahui laba/keuntungan yang diperoleh dari pendirian pabrik yang akan didirikan, apakah akan memberikan laba yang tergolong besar atau tidak, sehingga pabrik yang akan didirikan dapat dikategorikan apakah pabrik tersebut potensial atau tidak untuk didirikan dari sisi ekonomi, operasional, dan lingkungan. Beberapa cara yang digunakan untuk menyatakan kelayakan adalah :

1. Analisis Ekonomi

a. *Return On Investment* (%ROI)

Return On Investment adalah tingkat laba/keuntungan yang dapat diperoleh dari modal investasi yang dikeluarkan.

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

Laba dapat dihitung berdasarkan penjualan tahunan/*Annual Sales* (Sa) dan *Total Manufacturing Cost*. Pabrik dengan resiko yang cenderung rendah mempunyai batasan minimum ROI sebelum pajak sebesar 11% sedangkan pabrik dengan resiko tinggi mempunyai batasan nilai minimum ROI sebelum pajak sebesar 44%.

- a. ROI Sebelum Pajak (b)

$$ROI (b) = \frac{Keuntungan\ Sebelum\ Pajak}{Fixed\ Capital\ Investment} \times 100\%$$

- b. ROI Setelah Pajak (a)

$$ROI (a) = \frac{Keuntungan\ Setelah\ Pajak}{Fixed\ Capital\ Investment} \times 100\%$$

b. Pay Out Time (POT)

Pay Out Time adalah jumlah tahun yang telah berselang, sebelum diperoleh suatu penerimaan yang melebihi investasi awal atau jumlah tahun yang diperlukan untuk kembalinya *Capital Investment* dengan profit sebelum dikurangi depresiasi.

$$POT = \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{(Profit + Depresiasi)}$$

- a. POT Sebelum Pajak (b)

$$ROI (b) = \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{(Keuntungan\ Sebelum\ Pajak + 0,1\ FCI)} \times 100\%$$

- b. POT Setelah Pajak (a)

$$ROI (a) = \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{(Keuntungan\ Setelah\ Pajak + 0,1\ FCI)} \times 100\%$$

Pabrik dengan resiko rendah mempunyai nilai POT batasan maksimal 5 tahun, sedangkan pabrik dengan resiko tinggi mempunyai nilai POT batasan maksimal 2 tahun.

c. Break Even Point (%BEP)

Break Even Point adalah titik impas produksi yang dimana kondisi pabrik tidak mendapatkan laba maupun kerugian. Titik tersebut yang akan menunjukkan pada tingkat berapa biaya sama dengan penghasilan. *Break Even Point* kita dapat

menentukan harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum dan berapa harga serta unit penjualan yang harus dicapai agar mendapat laba. Kapasitas produksi pada saat *sales value* sama dengan *total cost*. Pabrik akan rugi jika beroperasi di bawah *Break Even Point* dan akan untung jika beroperasi di atas *Break Even Point*.

a. Nilai *Break Even Point*

Pada umumnya memiliki nilai berkisar 40% - 60%

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

Keterangan :

Fa : *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum (Rp)

Ra : *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum (Rp)

Va : *Annual Variable Value* pada produksi maksimum (Rp)

Sa : *Annual Sales Value* pada produksi maksimum (Rp)

d. ***Shut Down Point (%SDP)***

Shut Down Point adalah titik penentuan suatu aktivitas produksi apabila mengalami kerugian sebesar *fixed cost*, sehingga pabrik harus berhenti beroperasi atau ditutup. Alasan yang lain yaitu karena nilai variable cost terlalu tinggi, atau dapat juga dikarenakan putusan bagian manajemen yang dimana tidak adanya nilai ekonomis pada aktivitas produksi sehingga tidak dapat memperoleh profit serta biaya untuk melanjutkan operasi produksi pabrik akan lebih mahal daripada biaya untuk memberhentikan pabrik dan membayar *fixed cost*.

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

Keterangan :

Ra : *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum (Rp)

Va : *Annual Variable Value* pada produksi maksimum (Rp)

Sa : *Annual Sales Value* pada produksi maksimum (Rp)

e. *Discounted Cash Flow Rate Of Return (DCFR)*

Discounted Cash Flow Rate Of Return adalah besarnya estimasi suku bunga yang diperoleh setiap tahun yang berdasarkan atas investasi yang tidak kembali pada setiap akhir tahun selama umur pabrik. Penentuan *Discounted Cash Flow Rate Of Return* menggunakan nilai uang yang berubah oleh tempo waktu dan investasi yang tidak kembali pada akhir tahun selama umur pabrik.

Persamaan untuk menentukan DCFR :

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

Keterangan :

FC : *Fixed Capital*

WC : *Working Capital*

SV : *Salvage Value*

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

N : Umur Pabrik = 10 tahun

I : Nilai *Discounted Cash Flow Rate Of Return*

2. Kondisi Operasional dan Proses

a. Sifat Bahan Baku

Penggunaan bahan baku yang tidak berbahaya dan proses produksi yang aman berkontribusi pada penilaian risiko rendah. Misalnya, pabrik yang menggunakan bahan baku dengan sifat stabil dan tidak reaktif cenderung memiliki risiko lebih rendah.

b. Kondisi Fasilitas

Fasilitas yang dirancang dengan baik, termasuk sistem keselamatan dan perlindungan lingkungan, dapat mengurangi kemungkinan kecelakaan atau insiden. Pabrik dengan fasilitas baik dapat mengurangi resiko bahaya, sehingga beresiko rendah.

3. Lokasi dan Aksesibilitas

a. Lokasi Fasilitas

Pabrik yang berada di kawasan industri dengan infrastruktur baik dan akses mudah ke bahan baku serta tenaga kerja memiliki peluang lebih besar untuk beroperasi dengan risiko rendah.

b. Kondisi Sosio-Kultural

Lingkungan sosial di sekitar lokasi pabrik juga mempengaruhi risiko. Pabrik yang beroperasi di komunitas yang mendukung cenderung memiliki risiko lebih rendah.

4. Manajemen Risiko

a. Sistem Manajemen Keselamatan

Implementasi sistem manajemen keselamatan kerja yang efektif dapat membantu mengidentifikasi dan mengurangi potensi bahaya di tempat kerja.

b. Pelatihan Karyawan

Karyawan yang terlatih dalam praktik keselamatan kerja akan lebih mampu menghindari kecelakaan, sehingga menurunkan risiko keseluruhan pabrik.

6.5 Hasil Perhitungan

Pendirian pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) ini memerlukan perencanaan keuangan serta analisa yang baik untuk mengetahui apakah layak atau tidaknya PLTBg ini didirikan. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 6.2 sampai dengan Tabel 6.13 sebagai berikut :

Tabel 6. 2 Physical Plant Cost (PPC)

No.	Type of Capital Investment	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	<i>Purchased Equipment Cost (PEC)</i>	Rp51.311.101.519	\$3.297.205
2.	<i>Delivered Equipment Cost (DEC)</i>	Rp12.827.775.380	\$824.301
3.	<i>Instalation Cost</i>	Rp8.469.899.326	\$544.268
4.	<i>Piping Cost</i>	Rp12.099.867.956	\$777.527
5.	<i>Instrumentation Cost</i>	Rp12.844.479.019	\$825.375
6.	<i>Insulation Cost</i>	Rp1.980.845.258	\$127.287
7.	<i>Electrical Cost</i>	Rp6.670.443.197	\$428.637
8.	<i>Building Cost</i>	Rp145.337.500.000	\$9.339.256
9.	<i>Land & Yard Improvement</i>	Rp14.831.818.182	\$953.079
10.	<i>Physical Plant Cost (PPC)</i>	Rp266.373.729.837	\$17.116.934

Tabel 6. 3 Direct Plant Cost (DPC)

No.	Type of Capital Investment	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	<i>Engineering and Construction</i>	Rp53.274.745.967	\$3.423.386,84
2.	<i>Physical Plant Cost (PPC)</i>	Rp266.373.729.837	\$17.116.934
	<i>Direct Plant Cost (DPC)</i>	Rp319.648.475.805	\$20.540.321,03

Tabel 6. 4 Fixed Capital Investement (FCI)

No.	Type of Capital Investment	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	<i>Direct Plant Cost (DPC)</i>	Rp319.648.475.805	\$20.540.321
2.	<i>Contractor's Fee</i>	Rp22.375.393.306	\$1.437.822

3.	<i>Contingency</i>	Rp31.964.847.580	\$2.054.032
	<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	Rp373.988.716.691	\$24.032.176

Tabel 6. 5 *Working Capital Investement (WCI)*

No.	<i>Type of Expense</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	<i>Raw Material Inventory</i>	Rp14.006.652	\$900
2.	<i>Inproses Inventory</i>	Rp6.293.155.170	\$404.392
3.	<i>Product Inventory</i>	Rp12.586.310.339	\$808.785
4.	<i>Extended Credit</i>	Rp25.140.483.871	\$1.615.505
5.	<i>Available Cash</i>	Rp12.586.310.339	\$808.785
6.	<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	Rp56.620.266.371	\$3.638.367

Tabel 6. 6 *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

No.	<i>Type of Expense</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	<i>Raw Material</i>	Rp154.073.177	\$9.900,60
2.	<i>Labor</i>	Rp10.074.000.000	\$647.346,10
3.	<i>Supervision</i>	Rp2.115.540.000	\$135.942,68
4.	<i>Maintenance</i>	Rp24.309.266.585	\$1.562.091,41
5.	<i>Plant Supplies</i>	Rp3.646.389.988	\$234.313,71
6.	<i>Royalty and Patents</i>	Rp13.827.266.129	\$888.527,58
7.	<i>Utilities</i>	Rp8.780.878.552	\$564.251,29
	<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	Rp62.907.414.430	\$4.042.373,37

Tabel 6. 7 *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

No.	<i>Type of Expense</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	<i>Payroll Overhead</i>	Rp2.014.800.000	\$129.469
2.	<i>Laboratory</i>	Rp2.014.800.000	\$129.469
3.	<i>Plant Overhead</i>	Rp9.066.600.000	\$582.611
4.	<i>Packaging & Shipping</i>	Rp13.827.266.129	\$888.528
	<i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>	Rp26.923.466.129	\$1.730.078

Tabel 6. 8 *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

No.	<i>Type of Expense</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	<i>Depreciation</i>	Rp37.398.871.669	\$2.403.218
2.	<i>Property taxes</i>	Rp7.479.774.334	\$480.644
3.	<i>Insurance</i>	Rp3.739.887.167	\$240.322
4.	<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	Rp48.618.533.170	\$3.124.183
	<i>Total Manufacturing Cost (MC) DMC + IMC + FMC</i>	Rp138.449.413.729	\$8.896.633,71

Tabel 6. 9 General Expense (GE)

No.	Type of Expense	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	<i>Administration</i>	Rp6.922.470.686	\$444.832
2.	<i>Sales expense</i>	Rp27.689.882.746	\$1.779.327
3.	<i>Research</i>	Rp11.075.953.098	\$711.731
4.	<i>Finance</i>	Rp12.918.269.492	\$830.116
5.	<i>General Expense (GE)</i>	Rp58.606.576.023	\$3.766.005
	<i>Total production cost</i>	Rp197.055.989.752	\$12.662.639,10

Tabel 6. 10 Analisa Kelayakan

No.	Type of Expense	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	<i>Total Penjualan</i>	Rp276.545.322.581	Rp17.770.552
2.	<i>Total Production Cost</i>	Rp197.055.989.752	Rp12.662.639
3.	Total Keuntungan	Rp79.489.332.829	Rp5.107.912
	Keuntungan setelah dikurangi dengan Pajak 20%	Rp63.591.466.263	Rp4.086.330

6.6 Hasil Perhitungan

Penjualan :

a. Penjualan :

Produksi = 2,30 MWeL

Harga Jual = Rp 1.255/kwh

Total Penjualan = Rp 276.545.322.581

Total *Production Cost* = Rp 197.055.989.752

Keuntungan sebelum pajak = Rp 79.489.332.829

Pajak = 20%

Biaya Pajak = Rp 15.897.866.566

Keuntungan setelah pajak = Rp 63.591.466.263

Pajak ditentukan sebesar 20% dari peraturan pemerintah tentang pajak pendapatan.

(<http://perpajakan.ddtc.co.id/peraturan-pajak>)

1. *Return On Investment (ROI)*

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

ROI sebelum pajak = 21,25 %

ROI sesudah pajak = 17,00 %

2. *Pay Out Time (POT)*

$$POT = \frac{Fixed\ Capital\ Investment}{(Profit + Depresiasi)}$$

POT sebelum pajak = 3,2 Tahun

POT sesudah pajak = 3,7 Tahun

3. *Break Event Point (BEP)*

Tabel 6. 11 *Annual Fixed Cost (Fa)*

No.	Type of Expense	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	Depreciation	Rp37.398.871.669	\$2.403.218
2.	Property Taxes	Rp7.479.774.334	\$480.644
3.	Insurance	Rp3.739.887.167	\$240.322
	Fixed Cost (Fa)	Rp48.618.533.170	\$3.124.183

Tabel 6. 12 *Regulated Cost (Ra)*

No.	Type of Expense	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	Gaji Karyawan	Rp10.074.000.000	\$647.346
2.	Payroll Overhead	Rp2.014.800.000	\$129.469
3.	Supervision	Rp2.115.540.000	\$135.943
4.	Plant Overhead	Rp9.066.600.000	\$582.611
5.	Laboratorium	Rp2.014.800.000	\$129.469
6.	General Expenses	Rp58.606.576.023	\$3.766.005
7.	Maintenance	Rp24.309.266.585	\$1.562.091
8.	Plant Supplies	Rp3.646.389.988	\$234.314
	Regulated Cost (Ra)	Rp111.847.972.595	\$7.187.249

Tabel 6. 13 *Variabel Cost (Va)*

No.	Type of Expense	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	Raw Material	Rp154.073.177	Rp9.901
2.	Packaging & Shipping	Rp13.827.266.129	Rp888.528

3.	<i>Utilities</i>	Rp8.780.878.552	Rp564.251
4.	<i>Royalty & Paten</i>	Rp13.827.266.129	Rp888.528
	<i>Variabel Cost (Va)</i>	Rp36.589.483.987	\$2.351.207

Dari tabel diatas dapat disimpulkan :

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

$$BEP = 50,83 \%$$

1. Shut Down Point (SDP)

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

$$SDP = 20,76 \%$$

2. Discounted Cash Flow Rate (DCFR)

Umur Pabrik = 10 Tahun

FCI = Rp. 373.988.716.691

Working Capital = Rp. 56.620.266.371

Salvage Value (SV) = Rp. 37.398.871.669

Cash Flow (CF) = *Annual Profit + Depreciation + Finance*

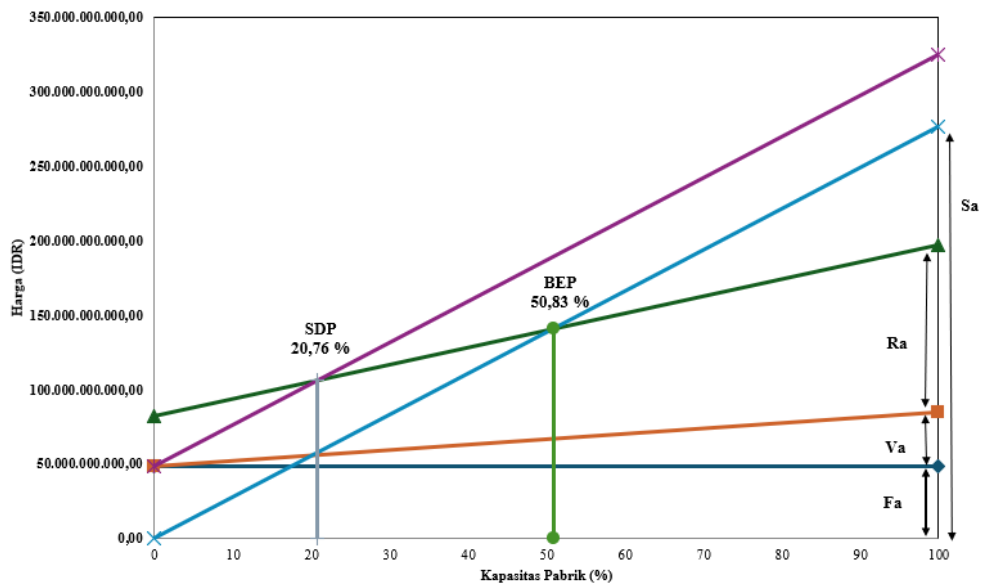
= Rp. 76.512.138.972

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

R = S

Dengan trial & error diperoleh nilai i = 15,89 %

Hasil kalkulasi pada kelayakan ekonomi pendirian Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) dari Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit dapat dipahami melalui grafik *Break Event Point* sebagai berikut:



Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Analisis Kelayakan Ekonomi

Berdasarkan analisis kelayakan ekonomi yang telah dilakukan, sehingga dapat disimpulkan bahwa pendirian Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) dari Air Limbah Kelapa Sawit dengan Kapasitas 2,30 MWeL bernilai layak dipertimbangkan untuk direalisasikan pendiriannya. Berdasarkan kalkulasi evaluasi ekonomi, diperoleh nilai BEP (break Even Point) (50,83%) dan nilai SDP (20,76%), sehingga pabrik layak untuk didirikan. Pabrik tergolong dalam pabrik yang beresiko rendah karena berdasarkan faktor ekonomi, nilai ROI (*Return On Investment*) sebesar 21,25 %, dan nilai POT (*Pay Out Time*) sebesar 3,2 tahun dimana nilai tersebut tergolong dalam pabrik beresiko rendah. Berdasarkan faktor operasional dan proses, bahan baku yang digunakan tidak berbahaya dan proses produksi yang aman, sehingga memiliki resiko yang lebih rendah. Selain itu, pabrik berada dikawasan industri, akses dengan lokasi bahan baku dan sungai mudah, dan sumber daya manusia yang mumpuni, sehingga pabrik tergolong dalam pabrik dengan resiko rendah.

Suatu pabrik harus dianalisa apakah beresiko rendah (*low risk*) atau beresiko tinggi (*high risk*). Resiko pabrik dapat ditinjau berdasarkan parameter pada Tabel 6.14.

Tabel 6. 14 Resiko Pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit

No	Parameter Resiko	Deskripsi	Risk	
			Low	High
1	Kondisi operasi	Suhu maksimal yang digunakan 35 C	✓	
		Tekanan maksimal yang digunakan 2 atm	✓	
2	Bahan baku yang digunakan			
	<i>Palm Oil Mill Effluent</i>	Toksisitas : Irritant		✓
		Explosion Limits : No explosion	✓	
		Flamability : POME cair tidak mudah terbakar	✓	
		Stabilitas : Stabil dalam suhu kamar	✓	
	Kalsium Oksida	Toksisitas : Irritant		✓
		Explosion Limits : Non explosion	✓	
		Flamability : Tidak mudah terbakar	✓	
		Stabilitas : Stabil di suhu kamar	✓	
3	Sifat Produk yang dihasilkan			
	Listrik	Toksisitas : Non toxic	✓	
		Efisiensi konversi : efisiensi > 80 %	✓	
		Kandungan gas berbahaya: H ₂ S < 1%	✓	
		Stabilitas : Tidak stabil pada suhu di luar suhu kamar		✓
		Flamability (risiko kebakaran) dan bahaya listrik : Tinggi		✓
4	Regulasi Pemerintah	Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor Per. 13/MEN/X/2011 Tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja.	✓	

		dan Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 Tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Menetapkan Baku Mutu Emisi atau Nilai Ambang Batas (NAB) : • Karbon dioksida (CO₂) = 9000 mg/m³ Emisi yang dihasilkan oleh Pra-Rancangan Pabrik PLTBg • Karbon dioksida (CO₂) = 288 mg/m³ Sehingga, Memenuhi standar baku mutu emisi yang ditentukan pemerintah		
		Dalam Kebijakan Energi Nasional, pemerintah masih membuka kesempatan investasi Energi Terbarukan (ET) dan Efisiensi Energi (EE) untuk mempercepat pencapaian target bauran energi terbarukan dalam bauran energi nasional penyediaan Pembangkit Listrik dari sumber energi terbarukan di Indonesia, salah satunya PLTBg dari POME. Hal ini dilihat dari Daftar Negatif Investasi (DNI) yang tercantum di Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 50 Tahun 2017 Tentang Penerimaan Investasi di Sektor Energi, bahwa PLTBg termasuk dalam bidang usaha yang memanfaatkan biogas sebagai bahan	✓	

		baku pembangkit tenaga listrik dan telah mendapatkan penetapan dari Menteri melalui Dirjen EBTKE dan izin usaha tersebut tidak termasuk dalam bidang usaha yang tertutup bagi penanaman modal karena untuk kepentingan umum, sehingga masih terbuka sebagai peluang investasi untuk PMDN maupun PMA.		
5	Keberadaan pabrik	Pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari POME banyak didirikan di Indonesia, beberapa diantaranya yaitu: 1. PLTBg PT. Perkebunan Nusantara III (PTPN III), Sumatra 2. PLTBg PT. Musim Mas, Sumatra 3. PLTBg PT. Astra Agro Lestari, Kalimantan	✓	

Berdasarkan parameter pada Tabel 6.14, maka pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit dikategorikan sebagai pabrik dengan resiko rendah (*low risk*).

BAB VII

PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisis, Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari limbah air kelapa sawit (POME) dengan Kapasitas 2,30 MWeL dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Pendirian pabrik Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari limbah air kelapa sawit (POME) dengan Kapasitas 2,30 MWeL bertujuan untuk mengurangi limbah organik sekaligus memberikan manfaat ekonomi, membuka lapangan kerja baru, dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi.
- b. Luas tanah yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari POME ini yaitu sebesar 1.255 m².
- c. Hasil evaluasi ekonomi pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari POME didapatkan yaitu:
 1. Keuntungan sebelum pajak sebesar Rp. 79.489.332.829
 2. Keuntungan setelah pajak sebesar Rp. 63.591.466.263
 3. *Return on Investment* sebelum pajak (RoI b) sebesar 21,25%, nilai tersebut masih masuk dalam syarat RoI b untuk pabrik kimia dengan resiko rendah yaitu minimal 11 % dan untuk pabrik dengan resiko tinggi 44 %.
 4. *Returns on Investment* sesudah pajak (RoI A) sebesar 17,00%

5. *Pay Out Time* sebelum pajak (POT b) sebesar 3,2 tahun, nilai tersebut masih masuk dalam syarat POT b untuk pabrik kimia dengan resiko rendah maksimal yaitu 5 tahun.
 6. *Pay Out Time* setelah pajak (POT a) sebesar 3,7 tahun
 7. *Break Even Point* (BEP) sebesar 50,83%, nilai tersebut masih memenuhi syarat BEP untuk pabrik kimia yaitu 40% - 60%.
 8. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 20,76 %, nilai tersebut masih memenuhi syarat SDP untuk pabrik kimia yaitu lebih besar dari nilai BEP dan range masih dalam (20 - 30 %).
 9. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFRR) sebesar 15,89 % masih memenuhi syarat minimum pabrik kimia pada umumnya adalah $1,5 \times 6,25 \% = 9,38\%$.
- d. Hasil dari keseluruhan tinjauan yang dilakukan mulai dari ketersediaan bahan baku, kondisi operasi proses dan hasil evaluasi ekonomi disimpulkan bahwa Pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari limbah air pabrik kelapa sawit (POME) dengan Kapasitas 2,30 MWeL layak untuk didirikan.

7.2 Saran

Perancangan suatu pabrik kimia diperlukan pemahaman konsep dasar yang dapat meningkatkan kelayakan pabrik untuk didirikan, konsep - konsep tersebut diantaranya:

- a. Perancangan pabrik kimia tidak lepas dari produksi limbah, sehingga diharapkan berkembangnya pabrik-pabrik kimia yang lebih ramah lingkungan dan dapat mengatasi masalah limbah tersebut.
- b. Pengoptimalan pemilihan seperti alat proses atau alat penunjang dan bahan baku perlu diperhatikan sehingga akan lebih mengoptimalkan keuntungan yang diperoleh.
- c. Pendirian pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari limbah air kelapa sawit (POME) dapat menjadi solusi pemerintah untuk mendorong tumbuhnya industri kimia didalam negeri, agar menjadi sektor penggerak perekonomian nasional.
- d. Pendirian pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari limbah air kelapa sawit (POME) dapat direalisasikan sebagai sarana untuk memenuhi kebutuhan listrik dari sumber energi terbarukan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Brownell, Lloyd E., and Edwin H. Young. 1959. *Process Equipment Design*. New York: John. Wiley & Sons, Inc.,.
- Chulalaksananukul S, Sinbuathong N, dan Chulalaksananukul W. 2012. *Bioconversion of pineapple solid waste under anaerobic condition through biogas production*. KKU Res. J. 17(5) :734-742.
- Choong, Y.Y.; Chou, K.W.; Norli, I. Strategi untuk Meningkatkan Produksi Biogas dari Pencernaan Anaerobik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (POME): Sebuah Tinjauan Kritis. Memperbaharui. Mempertahankan. Energy Rev. 2018, 82, 2993 - 3006. [CrossRef]
- Fiehl, M., Leicher, J., Giese, A., Görner, K., Fleischmann, B., & Spielmann, S. (2017). *Biogas as a co-firing fuel in thermal processing industries: Implementation in a glass melting furnace*. *Energy Procedia*, 120, 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.221>
- Firdaus, N.; Prasetyo, B.T.; Sofyan, Y.; Siregar, F. Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (POME): Pembangkit Listrik Tenaga Biogas. Distrib. Gener. Altern. Energi J. 2017, 32, 6-18. [CrossRef]
- McCabe, Warren L., Julian C. Smith, and Peter Harriot. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering, 5th edition*. Singapore: McGraw-Hill International Editions.
- MSDS Aquadest. (2021). Lembar Data Keselamatan Bahan Aquades. *Phase Equilibria in Binary Halides, 1907, 3–4*.
- MSDS Calcium Oxide. (2021). Lembar Data Keselamatan Bahan Calcium Oxide. *Material Safety Data Sheet, 1907, 1–10*.
- Nurbayunto, T. (2012). Indonesia Sustainable Palm Oil Certification (ISPO). *Mutu Internasional, SPO-4006b(21)*.
- Perry, Robert H., and Don W. Green. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Peters, Max S., and Klaus D. Timmerhaus. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 4th edition*. Singapore: McGraw-Hill International Editions.
- Sodri, A., & Septriana, F. E. (2022). *Biogas Power Generation from Palm Oil Mill Effluent (POME): Techno-Economic and Environmental Impact Evaluation*. *Energies*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/en15197265>
- Winrock, I. 2015. Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia. USAID From The American People.

- Yaws, Carl L. 1999. Chemical Properties Handbook. New York: Mc Graw Hill Book Co.Inc.
- Yuwono, H., Rahardjo, S., Hokermin, S., Paramita, V., Sri, A., & Yuwono, R. H. (2015). Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia. *Journal Winrock Internasional*, 100(Energy), 96.
- Zulkifli, A. (2016). Analisis Kelayakan Potensi Pembangunan PLTBg POME di Wilayah Perkebunan Sawit. *Jurnal Pasti*, X No 2, 192–207.

LAMPIRAN A

PERANCANGAN REAKTOR

LAMPIRAN

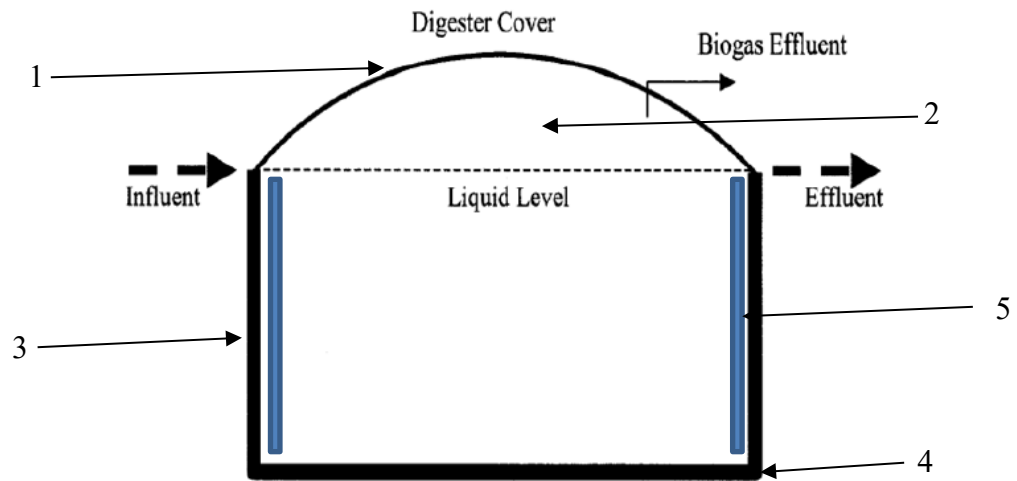
REAKTOR (R-01)

PERHITUNGAN REAKTOR

REAKTOR

Jenis	: Reaktor <i>Covered Lagoon</i>
Tipe	: <i>Covered lagoon reactor berbentuk balok</i>
Fungsi	: Tempat berlangsungnya reaksi pembentukan biogas dari proses fermentasi
Keadaan Operasi	: Suhu = 35 °C
	Tekanan = 1 atm
	Waktu Tinggal (τ) = 40 hari
	Reaksi = endotermis
Tujuan	: 1. Menentukan volume reaktor 2. Menentukan dimensi reaktor 3. Merancang <i>Head</i> 4. Merancang jaket pemanas

Gambar Reaktor :



Keterangan gambar :

1. Head
2. Gas Holder
3. Shell
4. Bottom
5. Jaket pemanas

Langkah -Langkah dalam perancangan reaktor adalah :

A. Menghitung Neraca Massa di sekitar Reaktor

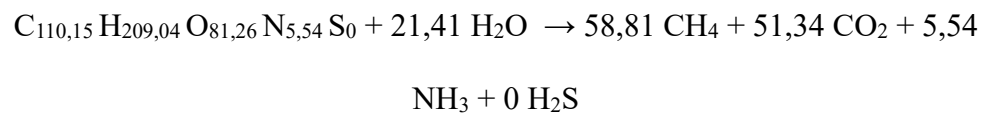
Kondisi

Suhu (T) : 35 °C

Ph : 7

HRT : 40 hari

Reaksi dalam reaktor :

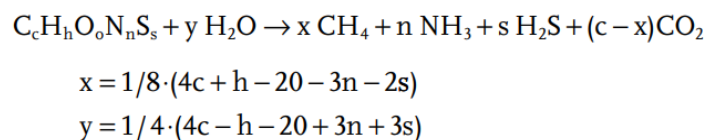


Laju alir massa input : 58.231,30 kg/jam

Komponen	POME	
	Nilai Persentase (%b)	Massa (Kg/jam)
TSS	5,00	2.911,56
AIR	95,00	55.319,73
Total	100,00	58.231,30

Dari tabel nilai persentase diatas dapat diperoleh nilai massa TSS dan air.

Dengan menggunakan model Boyle dari modifikasi Buswell and Mueller dapat diperoleh nilai rumus kimia dari limbah air kelapa sawit (POME).

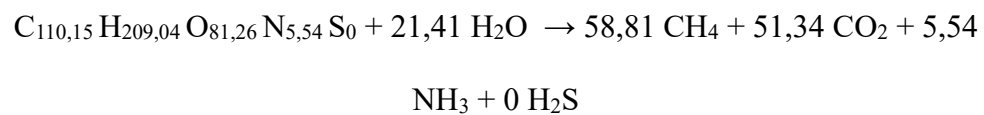


Diperlukan data persentase karbohidrat, protein dan lemak lemak yang kemudian diperlukan untuk menentukan kandungan senyawa C, H, O, N, dan S dari masing – masing bahan. Kemudian data yang diperoleh dapat

menentukan berat mol. Nilai berat mol dapat digunakan sebagai perhitungan menggunakan rumus Buswell and Mueller.

Komponen	Jumlah	kmol
C	1.323,07	110,15
H	210,74	209,04
O	1.300,14	81,26
N	77,61	5,54
S	0,00	0,00

Sehingga didapat reaksi sebagai berikut :



Berdasarkan hasil perhitungan koefisien masing-masing unsur maka akan diperoleh nilai persen dari masing – masing senyawa gas yang akan terbentuk. Hasil tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Komponen Biogas	kmol	massa (kg)	Degradasi (%)	Massa (kg)	Kadar (v/v)
CH ₄	58,81	940,99	0,50	470,50	53%
CO ₂	51,34	2.258,85	0,50	1.129,43	47%
H ₂ S	0,00	0,00	0,50	0,00	0%
Total Produksi Biogas				1.599,92	100%

Nilai degradasi 50 % menunjukkan bahwa tidak semua limbah padat dapat terurai menjadi biogas. Nilai persen degradasi harus di trial terlebih dulu sehingga menghasilkan nilai jumlah produksi yg sesuai. Untuk mendapatkan hasil biogas maka nilai persen degradasi harus dikalikan dengan nilai *Total Suspended Solid* (TSS). *Total Suspended Solid* (TSS)

adalah materi organik atau padatan organik yang menguap. Dengan analisis nilai TSS dapat diketahui banyaknya materi organik dalam limbah. Materi organik inilah yang akan dikonversikan menjadi biogas oleh bakteri.

Untuk gas H₂O yang terbentuk :

Kondisi Operasi

$$T = 35 \text{ C}$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$X_{\text{air}} = 0.96 \text{ (kandungan air didalam reaktor dianggap mencapai 96%)}$$

Sehingga, mol gas H₂O yang terbentuk menjadi biogas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Mol gas H}_2\text{O} &= (y_{\text{H}_2\text{O}} / 1 - y_{\text{H}_2\text{O}}) \times (m_{\text{CH}_4} + m_{\text{CO}_2}) \\ &= 0,05 \text{ kmol/jam} \\ &= 3,10 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Komponen	kg/jam	BM	IN (kmol)
CH ₄	470,50	16,00	29,41
CO ₂	1.129,43	44,00	25,67
H ₂ O	55,75	18,00	3,10
Total	1.655,68	78,00	58,17

Sehingga, Hasil kerluaran bawah reaktor :

$$\begin{aligned} \text{Total produk gas} &= \text{gas CH}_4 + \text{gas CO}_2 \\ &= 470,50 + 1.129,43 \\ &= 1.599,92 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah TSS} &= \text{TSS (in)} - \text{Produk Gas} - \text{massa NH}_3 \\ &= (2.911,56 - 1.599,92 - 47,10) \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$= 1.264,55 \text{ kg/jam}$$

Senyawa NH_3 menjadi hasil bawah reaktor karena dianggap mudah bereaksi dengan air. Dari data yang tersedia diperoleh neraca massa reaktor sebagai berikut :

KOMPONEN	IN (kg/jam)	OUT (kg/jam)	
	6.00	7.00	8.00
TSS	2.911,56		1.264,55
H_2O (Cair)	55.492,53		55.436,78
CaO	19,23		19,23
CH_4		470,50	
CO_2		1.129,43	
H_2O (Gas)		55,75	
NH_3			47,10
TOTAL	58.423,33	1.655,68	56.767,66
SUBTOTAL	58.423,33	58.423,33	

B. Menghitung Neraca Panas di Sekitar Reaktor

Data suhu :

$$T_{\text{input}} = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$$

$$T_{\text{output}} = 35^\circ\text{C} = 308 \text{ K}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

Data kapasitas panas komponen padat dapat didapatkan dengan menggunakan metode Hurst dan Harrison, dimana nilai kontribusi unsur atom adalah :

Tabel konstribusi unsur atom, Perry

Unsur Atom	ΔE_i
C	10,89
H	7,56
O	13,42
S	12,36
N	18,74

Rumus metode Hurst dan Harison

$$C_{ps} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \Delta E_i$$

Dimana :

C_{ps} = Kapasitas panas padatan pada 298 K (J/mol.K)

n = Jumlah unsur atom dalam suatu senyawa

N_i = Jumlah unsur atom i dalam suatu senyawa

ΔE_i = Nilai dari distribusi atom i pada tabel

Data kapasitas panas untuk komponen fase cairan :

$$C_p = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3$$

$$\int C_p dT = A(T - T_{ref}) + \frac{B}{2}(T^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3}(T^3 - T_{ref}^3) + \frac{D}{4}(T^4 - T_{ref}^4)$$

Komponen	A	B	C	D
H ₂ O (Cair)	92,053	-3,9953E-02	-2,1103E-04	5,3469E-07
NH ₃ (Cair)	-182,157	3,36E+00	-1,44E-02	2,04E-05

Data kapasitas panas untuk komponen fase gas :

$$C_p = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 + E \cdot T^4$$

$$\int C_p dT = A(T - T_{ref}) + \frac{B}{2}(T^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3}(T^3 - T_{ref}^3) + \frac{D}{4}(T^4 - T_{ref}^4)$$

Komponen	A	B	C	D	E
CH ₄	34,942	-3,9957E-02	1,9184E-04	-1,5303E-07	3,9321E-11
CO ₂	27,437	4,2315E-02	-1,9555E-05	3,9968E-09	-2,9872E-13
H ₂ O	33,933	-8,4186E-03	2,9906E-05	-1,7825E-08	3,6934E-12

1. Menghitung Q Pemanas

Neraca Panas Masuk

Komponen	Massa, kg/jam	n, kmol/jam	∫C _p .dt, kJ/Kmol	ΔH, kJ/jam
TSS	2911,56	1	19,8711	19,8711
CaO	19,23	0,343427494	6272,0584	2153,9973
H ₂ O	55492,53	3082,918573	377,5028	1163810,3910
Total	58423,33	3.084	6669,4323	1165984,259

Neraca Panas Keluar Reaktor (ATAS)

Komponen	Massa, kg/jam	N, kmol/jam	BM, kg/kmol	∫C _p .dt, kJ/Kmol	ΔH, kJ/jam
CH ₄	470,50	29,40607524	16	365,0510	10734,7165
CO ₂	1129,43	25,66878966	44	385,7345	9901,3370
H ₂ O (gas)	55,75	3,097310998	18	336,6046	1042,5692
Total	1655,68	58,17217591	78	1087,3901	21678,6227

Neraca Panas Keluaran Reaktor (BAWAH)

Komponen	Massa, kg/jam	n, kmol/jam	BM, kg/kmol	$\int Cp \cdot dt$, kJ/Kmol	ΔH , kJ/jam
TSS	1264,55	0,434318117	2912	39,7422	17,26076849
H ₂ O (cair)	55436,78	3079,821262	18	754,4915	2323699,079
CaO	19,23	0,343427494	56	12544,1169	4307,994616
NH ₃	47,10	2,770330575	17	813,1981	2252,827563
Total	56767,66	3083,369338	3003	14151,5487	2330277,162

$$\Delta H_{in} \text{ total} = 1165984,2594 \text{ kJ/jam}$$

$$\Delta H_{out} \text{ total} = 2351955,7850 \text{ kJ/jam}$$

Panas Reaksi ΔH_r 298 K (yaws)

Komponen	ΔH_f , kJ/mol	Massa, kg/jam	n, mol/jam	n. ΔH_f , kJ/jam
TSS	-983	694,44444	238,5124	-234537,2235
H ₂ O	-241,8	55492,5343	3082918,5732	-745449711
CH ₄	-74,85	470,49720	29406,0752	-2201044,732
CO ₂	-393,51	1129,42675	25668,7897	-10100925,42
NH ₃	-45,9	47,096	2770,3306	-127158,1734

$$\Delta H_r = \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_f \text{ standar (298 K)} = 7,3325512, \text{E}+08 \text{ kJ/jam}$$

$$\Delta H_f \text{ reaksi (308 K)} = 7,3444109, \text{E}+08 \text{ kJ/jam}$$

(Bersifat Endotermis)

$$Q \text{ pemanas} = \Delta H_{out} - (\Delta H_r + \Delta H_{in})$$

$$= 7,3562706, \text{E}+08 \text{ kJ/jam}$$

Masuk	kJ/jam	Keluar	kJ/jam
ΔH_{in}	1,1782064.E+06	ΔH_{out}	2,364150.E+06
Qpemanas	7,5086067.E+08	Panas Reaksi	7,496747.E+08
Total	7,520389.E+08	Total	7,520389.E+08

2. Menghitung Media Pemanas dalam Reaktor

Data :

$$H_v = 2.676 \text{ kJ/kg}$$

$$H_l = 419 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = H_v - H_l$$

$$= 2.257 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga dari data yang diperoleh, maka jumlah pemanas yang dibutuhkan:

$$m = \frac{Q}{\Delta H}$$

$$m = \frac{735.627.063}{2.257}$$

$$m = 325.931,3527 \text{ kg/jam}$$

Jumlah air panas yang dibutuhkan (m) = 325.931,3527 kg/jam

$$\text{Volume Pemanas} = \frac{m}{\text{densitas}}$$

$$V = \frac{m325.931,35}{1,204}$$

$$= 270.707,11 \text{ m}^3/\text{jam}$$

3. Merancang Jaket Pemanas Reaktor

Data :

Jenis : Jaket vessel

Media : Udara panas *gas engine*

Panjang : 2.526,36 in

Lebar : 1263,18 in

Tinggi : 1263,18 in

Tekanan reactor : 14,7 psia

Tekanan operasi : 14,7 psia

Asumsi jarak jaket : 5 in

Tebal dinding : 3 in

Allowable stress (f): 12.500 psia

Welded joint (E) : 0,85

Corrosion allowance: 0,002

Umur alat : 10 tahun

Menghitung panjang luar jaket pemanas (P2)

$$\begin{aligned} P2 &= \text{Panjang} + (2 \times \text{jarak jaket}) \\ &= 2.536,36 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung panjang dalam jaket (P1)

$$\begin{aligned} P2 &= \text{Panjang} + (2 \times \text{tebal dinding}) \\ &= 2.536,36 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung lebar luar jaket pemanas (L2)

$$P2 = \text{Lebar} + (2 \times \text{jarak jaket})$$

$$= 1.273,18 \text{ in}$$

Menghitung lebar dalam jaket (L1)

$$\begin{aligned} P2 &= \text{Lebar} + (2 \times \text{tebal dinding}) \\ &= 1.269,18 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung panas yang dilalui udara panas (A)

$$\begin{aligned} A &= P \times L \\ &= (P2 - P1) \times (L2 - L1) \\ &= 2.058,88 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Menghitung kecepatan udara panas (v)

$$\begin{aligned} v &= \frac{V}{A} \\ &= \frac{270.707,11 \text{ m}^3/\text{jam}}{2.058,88 \text{ m}^2} \\ &= 131,48 \text{ m/jam} \end{aligned}$$

Menghitung tekanan hidrostatik (Ph)

$$\begin{aligned} Ph &= \frac{(H - 1) \times 64,425}{144} \\ Ph &= \frac{(1263,18 - 1) \times 64,425}{144} \\ Ph &= 564,69 \text{ psia} \end{aligned}$$

Menghitung tekanan design

$$\begin{aligned} P \text{ design} &= P \text{ reaktor} + P \text{ operasi} + Ph \\ &= 780,78 \text{ psia} \end{aligned}$$

$$r_i = P \text{ design}$$

Menghitung tebal jaket pemanas (t_j)

$$t_j = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6P} + C$$

$$= \frac{780,78 \times 780,78}{(12500 \times 0,85) - (0,6 \times 780,78)} + (0,002 \times 10 \text{ tahun})$$

$$= 60 \text{ in}$$

C. Menentukan Volume Reaktor

$$\text{Laju alir massa (F)} = 58.423,33 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Densitas campuran } (\rho) = 1.018,811964 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Laju alir volumetrik (Q)} = 57,3432 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal (HRT)} = 40 \text{ hari} = 960 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume reaktor} &= Q \times \text{waktu tinggal (HRT)} \\ &= 57,3432 \text{ m}^3/\text{jam} \times 960 \text{ hari} \\ &= 55.049,4519 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume reaktor over design} &= 1,2 \times \text{Volume reaktor} \\ &= 1,2 \times 55.049,4519 \text{ m}^3 \\ &= 66.059,3423 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

D. Menentukan Dimensi Reaktor

$$\text{Jenis Tangki} = \text{covered lagoon berbentuk kolom}$$

$$\text{Head} = \text{penutup kertas HDPE}$$

Dari data yang diperoleh, maka dapat dihitung nilai diameter dan tinggi reaktor, sehingga :

$$P = 2L$$

$$T = L$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{V}{4}}$$

Lebar reaktor (L) = 32 m

Panjang reaktor (P) = 64 m

Tinggi reaktor(T) = 32 m

E. Menentukan Head

1. Menentukan luas permukaan kolom

Dimana :

Lebar kolom (L) = 32 m

Tinggi kolom (T) = 32 m

Panjang kolom (P) = 64 m

Luas permukaan kolom (A) = 10.294,44 m²

Sehingga luas permukaan total ;

A total = 0,3 x A (30% ditambahkan untuk overdesign)

A total = 13.382,78 m²

2. Menghitung lembaran HDPE yang dibutuhkan

Dimana :

Lebar lembaran roll = 5 m

Panjang lembaran HDPE roll = 50 m

Luas lembaran HDPE per roll = 250 m²

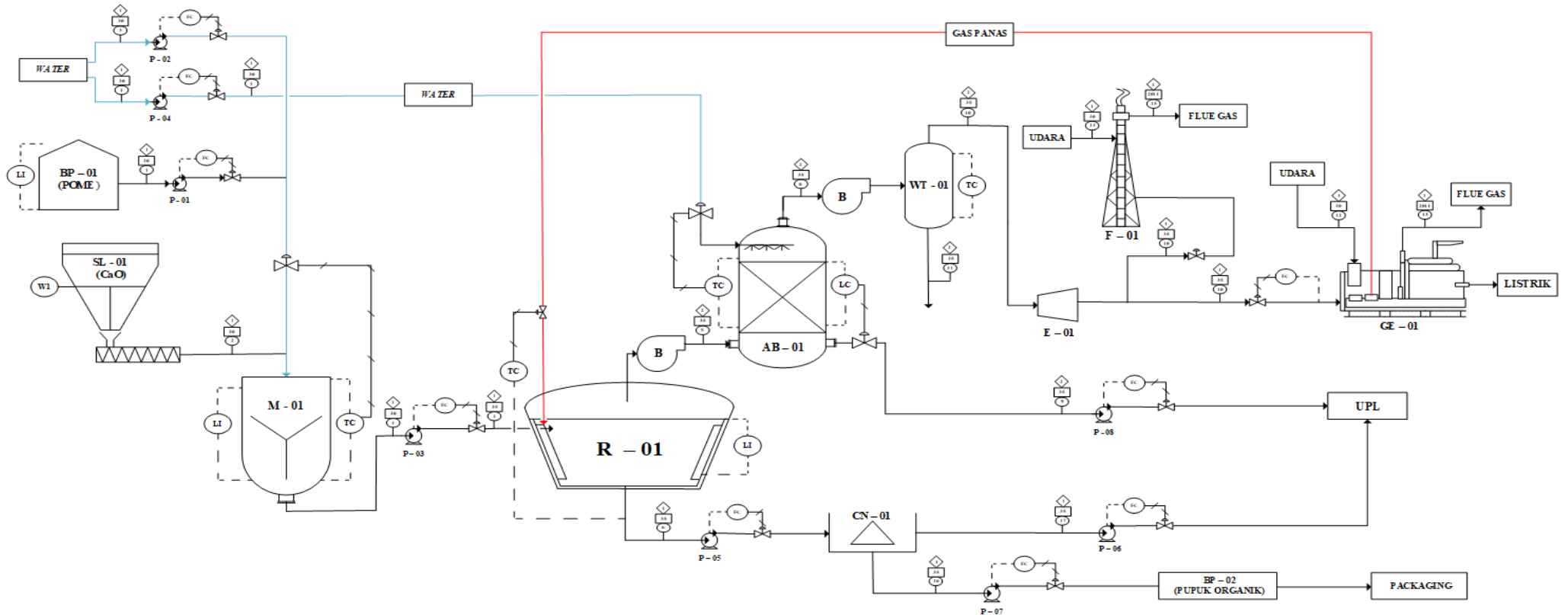
Jumlah roll (N) = $\frac{A \text{ total}}{A \text{ roll}}$
 $= \frac{113.382,78}{250}$
 = 54 roll

LAMPIRAN B

PROCESS FLOW DIAGRAM (PFD)

PROCESS FLOW DIAGRAM

PRARANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBg) DARI AIR LIMBAH KELAPA SAWIT DENGAN KAPASITAS 2,30 MW_{eL}



KOMPONEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TSS	2.911,56			1.911,56		1.364,55										1.264,55	
H ₂ O (Cair)	55.319,73		172,80	55.492,53		55.436,78					9,19					2.771,84	52.664,94
CaO		19,23		19,23		19,23										0,96	18,27
CH ₄					470,50			470,50		470,50							
CO ₂				1.129,43				963,54	225,89	963,54				2.197,41	219,74	2,35	44,74
NH ₃					47,10												
N ₂												5.750,10	5.750,10	575,01	575,01		
O ₂												1.881,99		188,20			
H ₂ O (Gas)					55,75			10,22		1,02			1.059,64		105,96		
H ₂ O (Cair)							887,37		932,90								
Pupuk Padat																	
Jumlah	58.231,30	19,23	172,80	58.423,33	1.655,68	56.767,66	887,37	1.384,25	1.158,79	1.375,06	9,19	7.632,09	9.007,15	763,21	900,71	4.039,70	52.727,95

KETERANGAN ATAP & INSTRUMEN	
T	Tangki
BP	Botol Pemampung
SL	Silo
M	Mixer
R	Reaktor
AB	Absorber
CN	Centrifuge Separator
SP	Separator
B	Blower
C	Kompresor
GE	Gas Engine
F	Flare
LI	Level Indikator
WT	Weight Indikator
FC	Flow Control
LC	Level Control

KETERANGAN SIMBOL	
	Control Valve
	Arus Sinyal Pneumatik
	Arus Sinyal Proses
	Arus Sambungan Listrik
	Tekanan (Atm)
	Temperatur (C)
	Nomor Arus

PRODI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA	
PRARANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBg) DARI AIR LIMBAH FABRIK KELAPA SAWIT DENGAN KAPASITAS 2,30 MW _{eL}	
Disusun Oleh :	1. Heppy Murti Nityas (20621190) 2. Artiyu Agustin (20621208)
Dosen Pembimbing :	Dr. Khamdan Cahyari S. T., M. Sc.

LAMPIRAN C

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

PRA-RANCANGAN PABRIK

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

1. Nama Mahasiswa : Heppy Murti Nityas
NIM : 20521190
2. Nama Mahasiswa : Artiya Agustin
NIM : 20521205

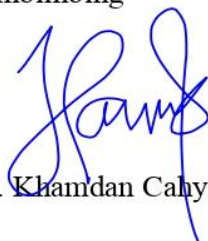
Judul Perancangan : Prarancangan Pabrik Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) Dari Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit Dengan Kapasitas 1,05 MweL

Mulai Masa Bimbingan : 14 September 2023

Batas Akhir Bimbingan : 13 Maret 2025

No	Tanggal	Konsultasi	Paraf Dosen
1.	08/10/2023	Pembahasan Awal Mengenai Biogas	
2.	08/07/2024	Penentuan Kapasitas Pabrik	
3.	16/07/2024	Penentuan Spesifikasi Bahan	
4.	14/08/2024	Penentuan Tinjauan Termodinamika dan Kinetika	
5.	22/08/2024	Diagram Alir Kualitatif	
6.	25/09/2024	Penentuan Neraca Massa	
7.	09/10/2024	Penentuan Perancangan Reaktor dan Alat Besar	
8.	16/10/2024	Penentuan Alat Penyimpanan Bahan dan Alat Transportasi	
9.	28/10/2024	Neraca Panas, Tata Letak Pabrik, Utilitas, dan Evaluasi Ekonomi	
10.	29/10/2024	PEFD dan Fixsasi Alat Proses & Utilitas	
11.	30/10/2024	Fixsasi Evaluasi Ekonomi dan Naskah TA	

Disetujui Draft Penulisan :
Yogyakarta, 30 Oktober 20224
Pembimbing


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