



TUGAS AKHIR PRA DESAIN PABRIK – TK 184803

PURIFIKASI BIOGAS PT ENERO DENGAN KARBONASI MINERAL Ca(OH)_2 DARI LIMBAH PABRIK ASETILENA (CSTR)

Oleh:

Stevefanus Yanli

NRP. 02211640000053

Nathanael Bagas Waskito

NRP. 02211640000122

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng

NIP. 19520916 198003 1 002

Dr. Siti Machmudah, ST., M.Eng

NIP. 19730512 199903 2 001

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA
SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TUGAS AKHIR PRA DESAIN PABRIK – TK 184803

**PURIFIKASI BIOGAS PT ENERO DENGAN
KARBONASI MINERAL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ DARI LIMBAH
PABRIK ASETILENA (CSTR)**

Oleh:

Stevefanus Yanli

NRP. 02211640000053

Nathanael Bagas Waskito

NRP. 02211640000122

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng

NIP. 19520916 198003 1 002

Dr. Siti Machmudah, ST., M.Eng

NIP. 19730512 199903 2 001

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA
SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tugas Desain Pabrik Kimia dengan Judul:

"PRA-DESAIN PABRIK PURIFIKASI BIOGAS PT ENERO DENGAN KARBONASI MINERAL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ DARI LIMBAH PABRIK ASETILENA (CSTR)"

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh :

Stevefanus Yanli
Nathanael Bagas Waskito

NRP. 0221164000053
NRP. 02211640000122

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Desain Pabrik Kimia:

1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng
(Pembimbing I)
2. Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng
(Pembimbing II)
3. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T
(Penguji I)
4. Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc.Eng
(Penguji II)
5. Prida Novarita Trisanti, S.T., M.T
(Penguji III)



INTISARI

Krisis energi belakangan ini menjadi isu global yang cukup mengkhawatirkan di mata dunia terutama Indonesia. Hal ini didorong oleh kenyataan bahwa kebutuhan energi semakin lama semakin bertambah. Di sisi lain, sumber energi yang tersedia saat ini jumlahnya semakin berkurang. Pemanfaatan energi non-renewable yang sudah marak, bila diteruskan bisa mengurangi jumlah energi yang tersedia di alam. Sumber daya energi konvensional seperti BBM (Bahan Bakar Minyak dan Gas Bumi) tidak lagi dapat dianggap sebagai solusi jangka panjang untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia.

Tingginya permintaan energi di dunia industri dan juga di sektor domestik, dan masalah polusi yang diakibatkan karena meluasnya penggunaan bahan bakar fosil membuatnya semakin penting untuk mengembangkan sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan ini diharapkan menjadi solusi energi jangka panjang dengan dampak lingkungan yang lebih kecil daripada energi konvensional.

Energi biogas adalah energi hasil konversi dari limbah manusia atau limbah organik lainnya yang dapat membentuk gas metana. Biogas ini dapat dijadikan sebagai energi alternatif karena proses pembuatan dan pemeliharaan pada pembangkit biogas yang sederhana dan energi yang dihasilkan bersahabat dengan lingkungan. Listrik dari pembangkit biogas dapat dimanfaatkan ke gas engine untuk keperluan pabrik sehingga mengurangi biaya bahan bakar dan dapat mengoptimalkan limbah pabrik. Biogas sendiri masih banyak mengandung zat pengotor sehingga mempengaruhi karakteristik dari biogas tersebut. Jika biogas dibersihkan dari pengotor secara baik akan memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam. Komponen pengotor berupa hydrogen sulfida (H_2S) dan karbondioksida (CO_2) harus dihilangkan agar biogas dapat digunakan pada gas engine.

Selain itu, dengan adanya perkembangan teknologi maju pesat, limbah industri juga semakin banyak dan menyebabkan

banyak masalah. Di Indonesia sendiri pengolahan limbah sangatlah kurang diperhatikan, sehingga semakin banyak pencemaran yang terjadi. Salah satunya adalah perusahaan yang memproduksi gas asetilen dan karbit yang dapat menimbulkan buangan kapur semi padat yaitu $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pencemaran limbah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tersebut dapat dikurangi dengan memanfaatkan limbah secara optimal. Salah satu caranya adalah dengan menjadikan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai absorben CO_2 pada proses purifikasi. Reaksi ini akan menghasilkan produk samping yakni CaCO_3 (kapur) yang merupakan padatan senyawa mineral karbonat anorganik dalam bentuk *precipitated calcium carbonate* (PCC).

Karbondioksida memiliki presentase terbesar di antara pengotor lain yang ada di dalam biogas. Karbendioksida dalam kandungan biogas merupakan penghambat atau menurunkan kadar CH_4 sehingga nilai kalor dari biometana juga menurun. Hal ini menyebabkan daya yang dihasilkan dari biometana juga rendah. Di sisi lain, karbendioksida ini dapat dimanfaatkan untuk pembuatan PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*). Serbuk PCC dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti: kesehatan, makanan, dan industri. Pada bidang industri, serbuk CaCO_3 dimanfaatkan dalam pembuatan kertas, plastik, mantel, tinta, cat, dan pipa polimer. Serbuk CaCO_3 dengan kualitas khusus dikembangkan sebagai bahan campuran kosmetik, bahan bioaktif, hingga suplemen nutrisi. PCC dapat dibuat dengan berbagai macam metode, salah satunya metode karbonasi. Metode karbonasi yaitu kalsium oksida yang telah dikalsinasi dilarutkan dalam air (slaking process) membentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$, selanjutnya dialiri gas CO_2 sampai pH mendekati netral membentuk endapan yaitu PCC.

Lokasi pabrik harus dekat dengan sumber bahan baku, sehingga proses operasi dapat terjaga kelangsungannya. Selain itu, dapat mengurangi biaya transportasi dan penyimpanan. Bahan utama pabrik ini adalah biogas, sehingga lokasi pabrik harus dekat dengan pemasok biogas. Pabrik pemasok biogas yang akan dipurifikasi adalah PT. Energi Agro Nusantara yang berlokasi di Suko Sewu, Gempolkrep, Kecamatan Gedek, Mojokerto, Jawa

Timur. Sehingga, lokasi pabrik biomethane dan PCC juga di daerah yang sama. Bahan baku yang diambil dari Pabrik PT. Energi Agro Nusantara yaitu 100 kg biogas per jam. Hasil produksi berupa biometana yang dapat dijual ke Pabrik Energi sebagai bahan bakar gas engine. Selain itu, produk samping berupa precipitated calcium carbonate (PCC) hasil dari absorpsi CO_2 dengan limbah asetilen yang dapat dijual kepada industri kertas dan plastik.

Proses purifikasi biogas dari limbah pabrik asetilen memiliki tiga tahap, yaitu tahap pre-treatment limbah asetilen, tahap pre-treatment biogas, dan tahap absorpsi CO_2 dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Tahap pre-treatment limbah asetilen ini dimaksudkan untuk mengekstraksi senyawa CaO yang terkandung di dalam limbah asetilen untuk direaksikan dengan air menjadi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang berfungsi sebagai absorben CO_2 pada biogas. Limbah asetilen masuk ke dalam mixer tank (M-120) untuk dicampurkan dengan air sehingga limbah asetilen yang awalnya padat berubah menjadi slurry, selain senyawa CaO yang ada di dalam limbah asetilen bereaksi dengan air menjadi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Kemudian slurry limbah asetilen diseparasi menggunakan clarifier (H-130) hingga hanya senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang tersisa. Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang keluar dari clarifier dialirkan dengan pompa (L-131) menuju heater (E-132) supaya suhu larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mencapai suhu optimum reaksi absorpsi CO_2 dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Kemudian larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dibagi menjadi 2 aliran dimana aliran 1 akan dialirkan menuju micro bubble generator (X-211) dimana dibutuhkan untuk membentuk dispersi gas terhadap larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sehingga menghasilkan gelembung berukuran mikro.

Tahap kedua adalah tahap pre-treatment biogas. Biogas dialirkan dengan kompresor (G-111) menuju fixed bed column (D-110). Fixed bed column berfungsi untuk mengadsorpsi H_2S yang terkandung di dalam biogas sebelum masuk ke reaktor absorpsi CO_2 , yang mana adsorben yang digunakan adalah soil laterite. H_2S harus dihilangkan karena bersifat korosif dan jika tetap dibiarkan ada dalam produk akhir, maka dapat menjadi racun dalam biogas. Biogas yang telah dimurnikan dari H_2S selanjutnya dialirkan ke

micro bubble generator (X-211) yang berfungsi menghasilkan gelembung biogas berukuran mikro yang terdispersi dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Biogas yang terdispersi dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kemudian dimasukkan ke dalam CSTR (R-210) untuk dilakukan proses pemurnian. Pada tahap ini gas asam yang dihilangkan dari biogas adalah CO_2 . Gas CO_2 harus dihilangkan karena bersifat korosif terhadap logam. Proses pemurnian biogas dilakukan dengan mereaksikan Gas CO_2 dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menghasilkan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). Biogas dari reaktor CSTR akan dialirkan menuju *knock out drum* (H-310) untuk dihilangkan kandungan airnya dari biometana, kemudian biogas dikompres menggunakan kompresor (G-321) dan didinginkan menggunakan cooler (E-322). Setelah itu biogas disimpan di dalam *compressed biomethane storage* (F-320) sebagai *compressed biomethane gas* (CBG). Sedangkan PCC yang terbentuk pada dasar CSTR (R-210) dialirkan menuju thickener (H-330). Di dalam *thickener*, PCC dipisahkan dari kandungan air nya, sedangkan padatnya dialirkan menuju *plate and frame filter press* (H-340). Setelah itu partikel PCC dikeringkan menggunakan *rotary dryer* (B-350), lalu di *milling* menggunakan *ball mill* (C-360).

Maka, jika ditinjau dari aspek teknis, pabrik ini layak untuk dilanjutkan ke tahap perencanaan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas kasih dan rahmatNya penyusunan “PRA DESAIN PABRIK PURIFIKASI BIOGAS PT. ENERO DENGAN KARBONASI MINERAL $Ca(OH)_2$ DARI LIMBAH PABRIK ASETILEN MENGGUNAKAN REAKTOR CSTR” ini dapat kami selesaikan.

Laporan tugas desain pabrik kimia ini ditulis sebagai salah satu persyaratan mahasiswa Departemen Teknik Kimia FTIRS-ITS guna memperoleh gelar sarjana. Tugas desain pabrik kimia ini kami susun berdasarkan aplikasi ilmu pengetahuan yang kami dapatkan selama masa perkuliahan, khususnya di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran Teknik Kimia FTIRS-ITS. Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan tugas pra desain pabrik ini, terutama kepada:

1. Tuhan yang Maha Esa karena atas segala berkat dan karunia-Nya selama ini.
2. Orang tua dan keluarga kami yang selalu memberi doa, dan dukungan selama perkuliahan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng selaku Dosen Pembimbing I dan Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak Dr. Siti Machmudah, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
5. Teman-teman Mixing Crew di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran serta teman-teman

Teknik Kimia FTIRS-ITS K56, atas doa, semangat, perhatian dan kasih sayang selama ini.

6. Teman-teman apatis total yang telah memberikan motivasi dan semangat hingga selesainya Tugas Desain Pabrik Kimia ini.
7. Teman-teman PMK ITS yang telah mendoakan dan memberi semangat hingga selesainya Tugas Desain Pabrik Kimia ini.
8. Teman-teman PD Noob yang selalu mendukung dan memberi semangat hingga selesainya Tugas Desain Pabrik Kimia ini.

Penulis menyadari bahwa laporan pra desain pabrik ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran dari para pembaca sangat penulis harapkan sebagai upaya peningkatan kualitas dari laporan ini.

Surabaya

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	
Ringkasan.....	i
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	I-1
I.2 Produksi Bahan Baku.....	I-5
I.3 Aspek Pemasaran.....	I-5
I.4 Prospek	I-6
I.5 Penggunaan Produk.....	I-8
I.6 Konsumsi.....	I-9
BAB II BASIS DESAIN DATA	
II.1 Lokasi Pabrik.....	II-1
II.2 Kapasitas Pabrik.....	II-2
II.3 Kualitas Bahan Baku dan Produk.....	II-2
BAB III SELEKSI DAN URAIAN PROSES	
III.1 Macam – Macam Proses.....	III-1
III.2 Seleksi Proses	III-50
III.3 Uraian Proses.....	III-61
BAB IV NERACA MASSA	
IV.1 Neraca Massa.....	IV-1
IV.2 Neraca Energi.....	IV-27
BAB V SPESIFIKASI ALAT	
V.1 Daftar dan Harga Peralatan.....	V-1
BAB VI ANALISA EKONOMI	
VI.1 Utilitas.....	VI-1
BAB VII KESIMPULAN	VII-1
DAFTAR PUSTAKA.....	xiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar III.1 Konstanta Equilibrium untuk menghilangkan H ₂ S dengan variasi besi oksida.....	III-2
Gambar III.2 Proses Pembuatan PCC dengan Metode Double Decomposition.....	III-11
Gambar III.3 Proses pembuatan PCC dengan metode karbonasi.....	III-13
Gambar III.4 Pembuatan PCC pada Plant Dhaka.....	III-15
Gambar III.5 <i>Disc Filter</i>	III-23
Gambar III.6 <i>Rotary Drum Filter</i>	III-24
Gambar III.7 <i>Plate and Frame Filter Press</i>	III-25
Gambar III.8 <i>Gravity Thickening</i>	III-28
Gambar III.9 <i>Centrifugal Thickening</i>	III-29
Gambar III.10 <i>LNG Storage Tank</i>	III-30
Gambar III.11 <i>Slurry Tank</i>	III-32
Gambar III.12 <i>Tower Silo</i>	III-33
Gambar III.13 <i>Bag Silo</i>	III-34
Gambar III.14 <i>Big Bag</i>	III-35
Gambar III.15 <i>Belt Conveyor</i>	III-37
Gambar III.16 <i>Screw Conveyor</i>	III-38
Gambar III.17 <i>Centrifugal Pump</i>	III-39
Gambar III.18 <i>Positive Displacement Pump</i>	III-40
Gambar III.19 <i>Positive Displacement Compressor</i>	III-41
Gambar III.20 <i>Dynamic Compressor</i>	III-42
Gambar III.21 <i>Rotary Dryer</i>	III-44
Gambar III.22 <i>Spray Dryer</i>	III-45
Gambar III.23 <i>Rotary Cutter Mill</i>	III-47
Gambar III.24 <i>Roller Mill</i>	III-48
Gambar III.25 <i>Ball Mill</i>	III-49

DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Komposisi Biogas Secara Umum.....	I-2
Tabel I.2 Spesifikasi Biogas PT. Enero.....	I-5
Tabel I.3 Rincian Buangan Ca(OH) ₂ untuk Daerah Sekitar Surabaya.....	I-6
Tabel I.4 Data Impor dan Ekspor PCC Tahun 2016 (Badan Pusat Statistik, 2017).....	I-7
Tabel I.5 Volume Penjualan Gas Alam Melalui Saluran Pipa Menurut Jenis Pelanggan (MMSCF), 2010-2015 (Badan Pusat Statistik, 2015).....	I-10
Tabel II.1 Sifat Fisik Senyawa SiO ₂	II-3
Tabel II.2 Sifat Fisik Senyawa Al ₂ O ₃	II-3
Tabel II.3 Sifat Fisik Senyawa CaO.....	II-4
Tabel II.4 Sifat Fisik Senyawa SO ₃	II-4
Tabel II.5 Sifat Fisik Senyawa Fe ₂ O ₃	II-4
Tabel II.6 Sifat Fisik Senyawa Y ₂ O ₃	II-5
Tabel II.7 Sifat Fisik Senyawa MoO ₃	II-5
Tabel II.8 Komposisi Soil Laterite.....	II-6
Tabel II.9 Komposisi Solid Soil Laterite.....	II-7
Tabel III.1 Data dan Kondisi Operasi Amina.....	III-5
Tabel III.2 Spesifikasi Limbah Industri Gas Asetilen.....	III-16
Tabel III.3 <i>Settling Velocity</i> Tiap Komponen di dalam Limbah Industri Gas Asetilen.....	III-17
Tabel III.4 Komponen dari Proses Separasi <i>Solid-Liquid</i>	III-21
Tabel III.5 Perbandingan Proses Pembuatan PCC.....	III-52
Tabel III.6 Karakteristik Komponen Limbah Pabrik Asetilen.....	III-53
Tabel III.7 Perbandingan Jenis Filter.....	III-55
Tabel III.8 Perbandingan Jenis Peralatan Sedimentasi.....	III-56
Tabel III.9 Perbandingan Jenis Dryer.....	III-59
Tabel III.10 Perbandingan Jenis <i>Mill</i>	III-59
Tabel IV.1 Komposisi Biogas PT. Enero.....	IV-1
Tabel IV.2 Neraca Massa Biogas <i>Compressor</i>	IV-2
Tabel IV.3 Neraca Massa <i>Cooler</i>	IV-3

Tabel IV.4 Neraca Massa <i>Laterite Soil Fixed Bed</i>	IV-4
Tabel IV.5 Neraca Massa <i>Treated Biogas Compressor</i>	IV-5
Tabel IV.6 Neraca Massa <i>Water Pump</i>	IV-5
Tabel IV.7 Neraca Massa <i>Belt Conveyor</i>	IV-6
Tabel IV.8 Neraca Massa <i>Mixer</i>	IV-7
Tabel IV.9 Neraca Massa <i>Clarifier</i>	IV-9
Tabel IV.10 Neraca Massa <i>Ca(OH)₂ Pump</i>	IV-10
Tabel IV.11 Neraca Massa <i>Heater</i>	IV-11
Tabel IV.12 Neraca Massa <i>Microbubble Generator</i>	IV-11
Tabel IV.13 Neraca Massa <i>CSTR</i>	IV-12
Tabel IV.14 Neraca Massa <i>Knock Out Drum</i>	IV-13
Tabel IV.15 Neraca Massa <i>Biomethane Compressed Packaged</i>	IV-14
Tabel IV.16 Neraca Massa <i>Intercooler</i>	IV-15
Tabel IV.17 Neraca Massa <i>CBG Storage Tank</i>	IV-16
Tabel IV.18 Neraca Massa <i>Thickener</i>	IV-17
Tabel IV.19 Neraca Massa <i>PCC Sludge Pump</i>	IV-17
Tabel IV.20 Neraca Massa <i>PCC Sludge Storage Vessel</i>	IV-18
Tabel IV.21 Neraca Massa <i>PCC Sludge Pump</i>	IV-19
Tabel IV.22 Neraca Massa <i>Plate and Frame Filter Press</i>	IV-20
Tabel IV.23 Neraca Massa <i>PCC Belt Conveyor</i>	IV-21
Tabel IV.24 Neraca Massa <i>PCC Cake Storage</i>	IV-21
Tabel IV.25 Neraca Massa <i>Cake Screw Conveyor</i>	IV-22
Tabel IV.26 Neraca Massa <i>Heater</i>	IV-23
Tabel IV.27 Neraca Massa <i>Rotary Dryer</i>	IV-24
Tabel IV.28 Neraca Massa <i>Cyclone</i>	IV-25
Tabel IV.29 Neraca Massa <i>PCC Screw Conveyor</i>	IV-25
Tabel IV.30 Neraca Massa <i>Ball Mill</i>	IV-26
Tabel IV.31 Neraca Massa <i>PCC Storage</i>	IV-27
Tabel IV.32 Neraca Energi <i>Biogas Compressor</i>	IV-28
Tabel IV.33 Neraca Energi <i>Cooler</i>	IV-28
Tabel IV.34 Neraca Energi <i>Laterite Soil Fixed Bed</i>	IV-29
Tabel IV.35 Neraca Energi <i>Treated Biogas Compressor</i>	IV-29
Tabel IV.36 Neraca Energi <i>Mixer</i>	IV-29
Tabel IV.37 Neraca Energi <i>Clarifier</i>	IV-31

Tabel IV.38 Neraca Energi <i>Heater</i>	IV-32
Tabel IV.39 Neraca Energi <i>Microbubble Generator</i>	IV-33
Tabel IV.40 Neraca Energi <i>CSTR</i>	IV-33
Tabel IV.41 Neraca Energi <i>Knock Out Drum</i>	IV-34
Tabel IV.42 Neraca Energi <i>Biomethane Compressed Package</i>	IV-35
Tabel IV.43 Neraca Energi <i>Intercooler</i>	IV-35
Tabel IV.44 Neraca Energi <i>CBG Storage Tank</i>	IV-36
Tabel IV.45 Neraca Energi <i>Thickener</i>	IV-36
Tabel IV.46 Neraca Energi <i>PCC Sludge Storage Tank</i>	IV-37
Tabel IV.47 Neraca Energi <i>Plate and Frame Filter Press</i>	IV-37
Tabel IV.48 Neraca Energi <i>PCC Cake Storage</i>	IV-38
Tabel IV.49 Neraca Energi <i>Heater</i>	IV-39
Tabel IV.50 Neraca Energi <i>Rotary Dryer</i>	IV-39
Tabel IV.51 Neraca Energi <i>Cyclone</i>	IV-40
Tabel IV.52 Neraca Energi <i>Ball Mill</i>	IV-40
Tabel V.1 Spesifikasi <i>Biogas Compressor</i>	V-1
Tabel V.2 Spesifikasi <i>Cooler</i>	V-1
Tabel V.3 Spesifikasi <i>Soil Laterite Fixed Bed</i>	V-2
Tabel V.4 Spesifikasi <i>Treated Biogas Compressor</i>	V-3
Tabel V.5 Spesifikasi <i>Limbah Acetylene Storage</i>	V-3
Tabel V.6 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i>	V-4
Tabel V.7 Spesifikasi <i>Water Pump</i>	V-4
Tabel V.8 Spesifikasi <i>Mixer</i>	V-5
Tabel V.9 Spesifikasi <i>Clarifier</i>	V-6
Tabel V.10 Spesifikasi <i>Ca(OH)₂ Pump</i>	V-6
Tabel V.11 Spesifikasi <i>Heater</i>	V-7
Tabel V.12 Spesifikasi <i>CSTR</i>	V-8
Tabel V.13 Spesifikasi <i>Thickener</i>	V-9
Tabel V.14 Spesifikasi <i>PCC Sludge Pump</i>	V-9
Tabel V.15 Spesifikasi <i>PCC Sludge Storage Vessel</i>	V-10
Tabel V.16 Spesifikasi <i>PCC Sludge Pump</i>	V-11
Tabel V.17 Spesifikasi <i>Plate and Frame Filter Press</i>	V-11
Tabel V.18 Spesifikasi <i>PCC Belt Conveyor</i>	V-12
Tabel V.19 Spesifikasi <i>PCC Cake Storage</i>	V-12

Tabel V.20 Spesifikasi <i>PCC Cake Screw Conveyor</i>	V-13
Tabel V.21 Spesifikasi <i>Rotary Dryer</i>	V-13
Tabel V.22 Spesifikasi <i>Heater</i>	V-14
Tabel V.23 Spesifikasi <i>PCC Screw Conveyor</i>	V-14
Tabel V.24 Spesifikasi <i>Cyclone</i>	V-15
Tabel V.25 Spesifikasi <i>Ball Mill</i>	V-15
Tabel V.26 Spesifikasi <i>PCC Storage</i>	V-16
Tabel V.27 Spesifikasi <i>Knock Out Drum</i>	V-16
Tabel V.28 Spesifikasi <i>Biomethane Compressor Package</i>	V-17
Tabel V.29 Spesifikasi <i>Intercooler</i>	V-17
Tabel V.30 Spesifikasi <i>CBG Storage Tank</i>	V-18

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Energi telah menjadi kebutuhan dasar bagi manusia dan memegang peranan penting dalam pergerakan perekonomian Indonesia. Banyak cara yang sudah dilakukan manusia untuk mencari alternatif energi yang dapat diperbaharui. Energi yang dapat diperbaharui merupakan energi yang dapat diperoleh dari alam seperti matahari, air, angin dan panas bumi. Energi yang dapat diperbaharui ini meliputi energi yang berbasis biomassa, *geothermal*, *hydropower*, *ocean energy*, *solar energy* dan *wind energy*.

Indonesia merupakan salah satu negara produsen minyak tertua di dunia, menurut Rencana Strategis (Renstra) Kementerian ESDM 2015-2019 Indonesia lebih banyak memproduksi minyak dibandingkan menemukan cadangan minyak dengan *Reverse to Production Ratio* sebesar 55%. Kebutuhan BBM di Indonesia pada tahun 2013 tercatat 1,3 juta barrel per day (bpd) dengan kapasitas kilang minyak Indonesia sebesar 1,167 juta bpd dan hanya dapat menghasilkan produksi BBM sebesar 650 ribu bpd, sehingga diperlukan impor bbm 600 ribu bpd dengan nilai lebih dari Rp. 1 triliun per hari. Pemanfaatan biogas merupakan bagian dari energi terbarukan yang menjadi program pemerintah dalam rangka meningkatkan akses energi bagi masyarakat melalui pemanfaatan Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBT) khususnya *bioenergy*. Hal tersebut tertera pada Kebijakan Energi Nasional No.79 Tahun 2014 yang menargetkan kontribusi EBT mencapai 23% dari total baharuan energi nasional pada tahun 2025. Dari target baharuan energi sebesar 23% tersebut, *bioenergy* diharapkan untuk berkontribusi sebesar 9,7% atau 23 MTOE (*Metric Ton Oil Equivalent*) dengan rincian sebesar 13,8 juta KiloLiter Biofuels, 8,4 juta ton biomassa dan 489,8 juta m³ biogas.

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi (pembusukan) bahan –

bahan organik oleh bakteri anaerob. Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan karena keberadaan bahan baku yang akan terus ada selama kehidupan berlangsung. Bahan baku biogas didapatkan dari bahan – bahan material organik seperti kotoran ternak, sampah organik, dan limbah – limbah biomassa dari industri. Biogas banyak mengandung pengotor sehingga mempengaruhi karakteristik dari biogas tersebut. Jika biogas dibersihkan dari pengotor secara baik akan memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam.

Komponen pengotor berupa air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2) dan beberapa partikulat harus dihilangkan agar biogas dapat digunakan pada *gas engine*. Karbon dioksida memiliki presentase terbesar di antara pengotor-pengotor lain di dalam biogas. Karbon dioksida dalam kandungan biogas merupakan penghambat atau menurunkan kadar CH_4 sehingga nilai kalor dari biometana juga menurun. Hal ini menyebabkan daya yang dihasilkan dari biometana juga rendah. Oleh karena itu, suatu mekanisme pemurnian biogas sangatlah penting untuk meningkatkan kualitas biogas sebagai penunjang upaya pemanfaatan potensi dari biogas secara lebih optimal, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti BBM, baik itu untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga (memasak) ataupun untuk menggerakkan mesin pembangkit listrik (genset) dan bahkan sebagai bahan bakar untuk kendaraan bermotor. Pada umumnya biogas terdiri dari 50-75% metana (CH_4) 25-45% karbon dioksida (CO_2) dan gas lainnya seperti dijelaskan pada tabel I.1

Tabel I.1 Komposisi Biogas Secara Umum

Komponen	Komposisi (%)
Metana (CH_4)	50-75
Karbon Dioksida (CO_2)	25-45
Nitrogen (N_2)	0-0,3

Hidrogen (H ₂)	1-5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	1-5
Oksigen (O ₂)	0,1-0,5

Namun biogas memiliki kandungan pengotor yang dapat mengurangi pemanfaatan dari biogas itu sendiri, komponen pengotor itu berupa hidrogen sulfida (H₂S), karbon dioksida (CO₂) dan air. Karbon dioksida memiliki presentasi terbesar di antara pengotor lainnya di dalam biogas. Karbon dioksida akan menghambat dan menurunkan kadar metana sehingga nilai kalor dari bio-metana yang dihasilkan akan menurun. Energi dari biogas bergantung pada konsentrasi metana pada biogas. Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas. Nilai energi dalam 1 m³ biogas setara dengan 6 kwh energi listrik, 0,62 liter minyak tanah, 0,52 liter minyak solar atau minyak diesel, 0,46 kg LPG, 3,5 kg kayu bakar, dan 0,8 liter bensin. Campuran biogas akan mudah terbakar jika mengandung gas metana lebih dari 50%. Ketika gas dibakar, api yang terbentuk berwarna biru seperti api yang dihasilkan dari gas elpiji dan energi panas yang dihasilkan berkisar antara 5200 – 5900 kcal/m³ gas, atau sama halnya dengan memanaskan 65 – 73 liter air dari suhu 20°C sampai mendidih atau menyalakan lampu dengan daya 50 – 100 watt selama 3 – 8 jam.

(Pertiwiningrum, 2015)

Jika diproses dengan baik biogas memiliki potensi yang sangat besar dalam bidang energi terbarukan. Karena biogas sebagian besar terdiri dari metana, maka biogas dapat menggantikan gas alam untuk berbagai aplikasi antara lain, pemanasan melalui pembakaran, bahan bakar mesin, bahan bakar kendaraan pengganti BBM dan dapat didistribusikan untuk pemanfaatan di sektor rumah tangga. Selain mengurangi kalori pembakaran, kadar CO₂ dan H₂S juga dapat menyebabkan korosi pada *engine* yang menggunakan biogas tersebut.

Pada saat ini, yaitu pada saat perkembangan teknologi maju pesat, limbah industri juga semakin banyak dan sangatlah membuat masalah. Di Indonesia sendiri pengolahan limbah sangatlah kurang diperhatikan, sehingga semakin banyak pencemaran yang terjadi. Salah satunya adalah perusahaan yang memproduksi gas asetilen dan karbit yang dapat menimbulkan buangan kapur semi padat yaitu $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pencemaran limbah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tersebut dapat dikurangi dengan memanfaatkan limbah secara optimal. Salah satu caranya adalah dengan menjadikan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai absorben CO_2 pada proses purifikasi. Reaksi ini akan menghasilkan produk samping yakni CaCO_3 (kapur) yang merupakan padatan senyawa mineral karbonat anorganik dalam bentuk *precipitated calcium carbonate* (PCC).

(Dewi, 2018)

Serbuk PCC dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti kesehatan, makanan, dan dalam sektor industri sebagai bahan pembuat kertas, plastik, mantel, tinta, cat dan pipa polimer. Serbuk PCC dengan kualitas khusus dapat digunakan sebagai bahan campuran kosmetik, bahan bioaktif, maupun suplemen nutrisi. PCC adalah produk pengolahan batu kapur yang memiliki rumus kimia CaCO_3 yang memiliki keistimewaan dibandingkan batu kapur pada umumnya seperti ukuran partikel yang kecil (skala mikro) dan homogen. Dengan keistimewaan karakteristik tersebut pemanfaatan PCC dalam bidang industri dapat lebih luas. PCC dapat disintesis menggunakan beberapa macam metode antara lain metode solvay, karbonasi dan metode dengan menggunakan soda kaustik. Proses purifikasi biogas sendiri dilakukan dengan cara mengumpulkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ke dalam tangki reaktor 3 fase berpengaduk untuk direaksikan dengan gas CO_2 sampai pH mendekati netral dan terbentuk endapan PCC.

(Anggraini, 2016)

Limbah dari pabrik asetilen yang berupa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dapat dimanfaatkan dalam proses purifikasi sebagai absorben CO_2 yang terkandung di dalam biogas. Pemanfaatan limbah pabrik asetilen pada purifikasi biogas ini yang mendasari pembuatan tugas pra

desain pabrik dengan judul “Pra Desain Pabrik Purifikasi Biogas PT. Enero dengan Karbonasi Mineral $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari Limbah Pabrik Asetilen Menggunakan Reaktor CSTR”.

I.2 Produksi Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pabrik purifikasi biogas ini adalah biogas dari *Anaerobic Digester* PT. Energi Agro Nusantara (Enero). Biogas yang digunakan *Anaerobic Digester* PT. Energi Agro Nusantara (Enero) adalah biogas dengan proses biologis yang melibatkan sejumlah kelompok bakteri anaerobik yang tujuan utamanya adalah mendegradasi kandungan organik dalam suatu limbah. Di PT. Enero *anaerobic digester* memiliki kapasitas yang sangat besar karena limbah yang dihasilkan dari sisi volumetrik dan kandungan organiknya juga begitu besar. Biogas dari PT. Enero memiliki spesifikasi seperti pada tabel I.2

Tabel I.2 Spesifikasi Biogas PT. Enero

Komponen	Komposisi
Metana (CH_4)	61 %
Karbon Dioksida (CO_2)	38 %
Hidrogen Sulfida (H_2S)	1 %

I.3 Aspek Pemasaran

Teknologi biogas mulai diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1970-an. Pada awalnya teknik pengolahan limbah dengan instalasi biogas dikembangkan di wilayah pedesaan, tetapi saat ini teknologi ini sudah mulai diterapkan di wilayah perkotaan. Pada tahun 1981, pengembangan instalasi biogas di Indonesia dikembangkan melalui Proyek Pengembangan Biogas dengan dukungan dana dari Food and Agriculture Organization (FAO) dengan dibangun contoh instalasi biogas di beberapa provinsi. Mulai tahun 2000-an telah dikembangkan reaktor biogas skala kecil (rumah tangga) dengan konstruksi sederhana yang terbuat

dari plastik secara siap pasang dan dengan harga yang relatif murah (Pertiwiningrum, 2015).

Biogas dapat menggantikan penggunaan bahan bakar minyak sebagai bahan utama penghasil listrik. Selama ini, pemanfaatan biogas yang diproduksi di Indonesia sebagian besar dikonsumsi sebagai bahan bakar minyak oleh sektor rumah tangga. Maka dengan proses purifikasi yang efektif dan efisien, biogas dapat dikonversi menjadi sumber energi terbarukan yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai *gas engine* untuk pembangkit listrik maupun pengganti BBM untuk transportasi. Selain itu produk samping yang dihasilkan berupa PCC, pupuk cair dan kompos dapat dijual ke masyarakat.

I.4 Prospek

Pada saat ini, pengolahan limbah industri di Indonesia masih sangat kurang diperhatikan, sehingga semakin banyak pencemaran yang terjadi. Sebagai contohnya di daerah Surabaya dan sekitarnya terdapat empat perusahaan yang memproduksi gas asetilen dan karbit yang dapat menimbulkan buangan kapur semi padat yaitu Ca(OH)_2 .

Adapun buangan Ca(OH)_2 tersebut berasal dari pabrik asetilen dengan bahan baku karbit berjumlah cukup banyak, yaitu untuk daerah sekitar Surabaya sebanyak 1896 ton/tahun atau 5,745 ton/hari dengan rincian seperti pada tabel I.3

Tabel I.3 Rincian Buangan Ca(OH)_2 untuk Daerah Sekitar Surabaya

Pabrik	Jumlah Ca(OH)_2
Asetilin Aneka Gas	648 ton/tahun
PT. Samator	648 ton/tahun
Gas Asetilin Surabaya Steel	600 ton/tahun

Dengan jumlah limbah Ca(OH)_2 yang cukup banyak, limbah tersebut dapat dimanfaatkan untuk mempurifikasi biogas yang ada,

sehingga produksi biogas di kalangan masyarakat hingga pembangkit listrik semakin tercukupi.

Sementara itu, Kebutuhan PCC di pasaran dunia umumnya dan di Indonesia khususnya terus meningkat. Produsen PCC di Indonesia antara lain PT Bumi Kencana Murni Chemical Industry, PT Light Calsindo Raya, dan Minerals Technologies Incorporated (MTI). Data statistik impor dan ekspor PCC pada Bulan Januari-Desember Tahun 2016 diperlihatkan pada tabel berikut ini.

Tabel I.4 Data Impor dan Ekspor PCC Tahun 2016 (Badan Pusat Statistik, 2017)

Bulan	Impor	Ekspor
Januari	1.123.248	1.044.888
Februari	924.468	266.270
Maret	1.398.278	419.000
April	745.691	44.000
Mei	1.177.000	44.000
Juni	857.738	-
Juli	331.192	-
Agustus	979.001	304.000
September	1.167.321	295.270
Oktober	1.069.310	285.300
November	1.172.204	344.325
Desember	1.580.387	225.000
Total	12.525.838	3.272.053

Dari data pada Tabel I.4 menunjukkan jumlah impor PCC yang signifikan dibandingkan dengan jumlah ekspor PCC. Hal ini menunjukkan bahwa produksi PCC perlu ditingkatkan untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia, dengan memanfaatkan produk samping yang berupa gas CO₂ dari hasil pemurnian gas bio-methane. Sedangkan bahan baku pembuatan PCC yang berupa kapur tohor (CaO) diperoleh dari CV. Aikes Tanjung Mandiri yang berlokasi di Kecamatan Pangandaran, Provinsi Jambi, Sumatera Selatan.

I.5 Penggunaan Produk

Dalam perkembangannya, biogas dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan diantaranya:

1. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan boiler. Panas yang dihasilkan digunakan untuk menghasilkan uap dalam proses di industri.
2. Biogas juga digunakan pada unit *Combined Heat Power* (CHP). Unit CHP digunakan untuk menghasilkan listrik dan panas untuk *anaerobic digester*. Contohnya pemanasan *digester* dan sterilisasi *digestate* dapat dilakukan dengan panas tersebut.
3. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan, tetapi harus melalui pengolahan yang lebih lanjut untuk menghasilkan biogas yang berkualitas tinggi.
4. Metana yang terkandung dalam biogas juga dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk *fuel cells*, yang akan memproduksi energi dalam bentuk listrik dan proses.
5. Limbah *digester* biogas baik yang padat maupun yang cair dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik.
 - a. Limbah padat sangat baik untuk pupuk karena pemrosesan pupuk lebih sempurna dari pada pupuk kandang yang ditumpuk di udara terbuka.
 - b. Pupuk hasil *digester* ini selain mengandung unsur hara yang tinggi juga dapat berfungsi memperbaiki struktur tanah.

6. Digester memiliki kandungan nutrisi (nitrogen, fosfor, dan kalium) yang tinggi sehingga sering digunakan sebagai pupuk untuk memperoleh peroduk berkualitas tinggi, dengan nilai *digestate* dapat diproses menjadi kompos. Sedangkan PCC banyak digunakan dalam industri sebagai berikut:
 1. Pada industri kertas sebagai *filler* dan *coating*.
 2. Pada industri plastik sebagai *filler* untuk meningkatkan kualitas fisik seperti modulus, resistansi terhadap panas, dan kekerasan.
 3. Pada industri cat dan pelapisan, digunakan sebagai *filler/extender*.
 4. Pada industri makanan dan farmasi, antara lain digunakan sebagai antasid, suplemen kalsium pada makanan, *abrasive mild* pada pasta gigi.

I.6 Konsumsi

Tingkat pemenuhan listrik merupakan salah satu faktor suatu negara diilai pertumbuhan ekonominya. Saat ini negara Indonesia termasuk negara berkembang, dimana penyediaan listrik bukan merupakan pemenuhan kebutuhan riil seluruhnya tetapi lebih berfokus pada pemerataan listrik ke masyarakat. PT. PLN tidak hanya memproduksi listrik sendiri tetapi juga memberi listrik dari pembangkit listrik swasta atau koperasi untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional.

Dinas Perancangan Sistem PT. PLN dan TIM Energi BPPT, menganalisa bahwa selama kurun waktu 2003-2020 rata-rata kebutuhan listrik di Indonesia tumbuh sebesar 6,5% per tahun dengan pertumbuhan listrik di sektor komersial yang tertinggi, yaitu sekitar 7,3% per tahun dan disusul oleh sektor rumah tangga dengan pertumbuhan kebutuhan listrik sebesar 6,9% per tahun. Hal tersebut sangat beralasan, mengingat untuk meningkatkan perekonomian di Indonesia, pemerintah meningkatkan pertumbuhan sektor pariwisata yang selanjutnya akan mempengaruhi sektor komersial. Untuk sektor rumah tangga laju

pertumbuhan kebutuhan listrik yang tinggi dipicu oleh rasio elektrifikasi dari berbagai daerah yang masih relatif rendah, karena sampai tahun 2003 masih ada beberapa wilayah di Indonesia yang belum memiliki jaringan listrik terutama di daerah yang tidak dilewati listrik PLN. Produksi biogas dalam jumlah besar akan sangat menguntungkan karena dapat dikonversi menjadi listrik. Konversi listrik sebesar 2,14 kWh/m³ biogas.

Tabel I.5 Volume Penjualan Gas Alam Melalui Saluran Pipa Menurut Jenis Pelanggan (MMSCF), 2010-2015 (Badan Pusat Statistik, 2015)

Jenis Pelanggan	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rumah Tangga	641,94	635,24	618,05	596,34	611,82	714,91
Komersial	5.067,32	7.028,82	7.570,18	6.851,29	7.427,94	8.131,57
Industri	196.356,46	227.759,28	272.832,32	295.618,59	337.106,04	314.646,22
Pembangkit Listrik	9.872,29	10.295,15	18.715,84	14.381,76	18.475,89	35.332,88
SPBE/ SPBG	1.036,79	1.005,26	819,75	1.237,47	2.338,25	2.359,36
Jumlah	212.974,81	246.723,76	300.556,13	319.135,44	366.054,94	361184,95

BAB II

BASIS DESAIN DATA

II.1 Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik sangat menentukan kemajuan dan kelangsungan industri, baik pada masa sekarang maupun masa yang akan datang karena hal ini berpengaruh terhadap faktor produksi dan distribusi dari pabrik yang didirikan. Karena pembangunan pabrik ini merupakan skala pilot, maka pemilihan lokasi pabrik harus memberikan suatu perhitungan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta mempertimbangan aspek sosial masyarakat dari sekitar lokasi pabrik. Dalam pemilihan lokasi pabrik purifikasi biogas terdapat pertimbangan yang perlu diperhatikan yaitu ketersediaan bahan baku yang berupa Biogas sebelum di purifikasi. Selain berdasarkan ketersediaan bahan baku utama yang berupa Biogas sebelum di purifikasi, pemilihan lokasi pabrik dipengaruhi beberapa indikator lainnya.

Pabrik Pilot purifikasi Biogas akan didirikan berdekatan dengan PT. Energi Agro Nusantara yang merupakan pabrik penghasil Biogas yang merupakan pemasok utama dari Biogas yang digunakan untuk purifikasi. PT. Energi Agro Nusantara yang berlokasi di Suko Sewu, Gempolkrep, Kecamatan Gedek, Mojokerto, Jawa Timur merupakan salah satu pabrik penghasil Biogas di Indonesia yang digunakan untuk Selain berdasarkan ketersediaan bahan baku utama yang berupa biogas. Selain itu juga berdekatan dengan pabrik Surabaya dimana akan membeli limbah pabrik asetilen dari PT. Surabaya Asetilen sehingga meminimalisir biaya transport untuk pembelian bahan baku.

PT. Energi Agro Nusantara terletak di Provinsi Jawa Timur, Mojokerto yang berdekatan dengan Surabaya dan Malang sehingga akan memudahkan distribusi penjualan produk ke kota – kota besar di Jawa Timur. Selain itu Mojokerto memiliki banyak sumber air yaitu sungai dan salah satunya adalah sungai Brantas yang strategis sehingga memudahkan kebutuhan air untuk proses pada produksi dalam pabrik. Karena pabrik yang dibangun

adalah pilot plant, maka tidak membutuhkan banyak tenaga kerja untuk mengoperasikan pabrik ini sehingga tidak tergantung akan banyaknya orang yang bekerja.

II.2 Kapasitas Pabrik

Kapasitas Produksi PT Energi Agro Nusantara adalah sebesar 33.000 kL/tahun dan dari proses tersebut dihasilkan biogas sebanyak 337,065 ton/tahun. Maka dari itu, kapasitas produksi “Pabrik Purifikasi Biogas PT Enero dengan Karbonasi Mineral $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari Limbah Pabrik Asetilen” untuk pilot plant menggunakan basis data sebagai berikut:

- Waktu Operasi : 330 hari kerja/tahun
- Waktu Kerja : 24 jam/hari
- Biogas yang Terpurifikasi : 337,067 ton/tahun
- Limbah Asetilen Terolah : 716,332 ton/tahun
- Kapasitas Produksi PCC : 1547,18 ton/tahun

II.3 Kualitas Bahan Baku dan Produk

II.3.1 Bahan Baku

II.3.1.1 Biogas

Biogas dari PT Energi Agro Nusantara akan di purifikasi menggunakan limbah asetilen. Spesifikasi dari Biogas dari PT Energi Agro Nusantara adalah:

- Suhu = 35 – 70 °C
- Ph = 6.8 – 8
- Metana (CH_4) = 61%
- Karbon Dioksida (CO_2) = 38%
- Hidrogen Sulfida (H_2S) = 1%

II.3.1.2 Limbah Acetylene

Limbah Acetylene merupakan produk samping dari proses pembentukan Acetylene (C_2H_2). Karakteritis dari Limbah Acetylene yaitu:

- $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0.6\%$

- $\text{SiO}_2 = 0.9\%$
- $\text{SO}_3 = 0.3\%$
- $\text{CaO} = 95.37\%$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.48\%$
- $\text{Y}_2\text{O}_3 = 0.25\%$
- $\text{MoO}_3 = 2.1\%$

II.3.1.2.1 SiO_2

Tabel II.1 Sifat Fisik Senyawa SiO_2

Berat Jenis	60,084 g/mol
Densitas	2,2 g/cm ³
Titik Lebur	1710°C
Titik Didih	2230°C
Tidak larut dalam air	

II.3.1.1.2 Al_2O_3

Tabel II.2 Sifat Fisik Senyawa Al_2O_3

Berat Jenis	101,961 g/mol
Densitas	3,97 g/cm ³
Titik Lebur	2054°C
Titik Didih	3000°C
Tidak larut dalam air	

II.3.1.1.3 CaO

Tabel II.3 Sifat Fisik Senyawa CaO

Berat Jenis	56,08 g/mol
Densitas	3,34 g/cm ³
Titik Lebur	2613°C
Titik Didih	2850°C
Larut dalam air	

II.3.1.1.4 SO₃

Tabel II.4 Sifat Fisik Senyawa SO₃

Berat Jenis	80,07 g/mol
Densitas	0,63 g/cm ³
Titik Lebur	16,8°C
Titik Didih	44,5°C
Larut dalam air	

II.3.1.1.5 Fe₂O₃

Tabel II.5 Sifat Fisik Senyawa Fe₂O₃

Berat Jenis	159,69 g/mol
Densitas	5,25 g/cm ³
Titik Lebur	1565°C

Titik Didih	2623°C
Tidak larut dalam air	

II.3.1.1.6 Y₂O₃

Tabel II.6 Sifat Fisik Senyawa Y₂O₃

Berat Jenis	225,81 g/mol
Densitas	5,01 g/cm ³
Titik Lebur	2425°C
Titik Didih	4300°C
Tidak larut dalam air	

II.3.1.1.7 MoO₃

Tabel II.7 Sifat Fisik Senyawa MoO₃

Berat Jenis	143,9 g/mol
Densitas	4,69 g/cm ³
Titik Lebur	1463°C
Titik Didih	1155°C
Sedikit larut dalam air	

II.3.1.3 Soil Laterite

Soil laterite digunakan sebagai adsorber dalam menyerap kandungan H_2S dalam biogas. Soil laterite yang digunakan berasal dari Halmahera. Komposisi soil laterite yang digunakan yaitu:

Tabel II.8 Komposisi Soil Laterite

Komponen soil laterite	Komposisi (% massa)
Komponen solid	79.74
Air	20.26

Adapun rincian komponen solidnya adalah sebagai berikut:

Tabel II.9 Komposisi Solid Soil Laterite

Komponen solid	Komposisi (% massa)
FeO	86,55
Al ₂ O ₃	5,73
NiO	2,78
SiO ₂	2,28
SO ₃	1,05
MgO	0,83
CaO	0,25
MnO	0,24

(Saing, Z.et.al, 2016)

II.3.2 Spesifikasi Produk

II.3.2.1 Biomethane

Pabrik purifikasi biogas ini akan menghasilkan biometana dengan karakteristik sebagai berikut:

Sifat fisika dari gas CH₄:

- Berat molekul = 16,042
- Titik didih pada 14,7 psia (760 mm) = -161,49°C
- Titik beku pada 14,7 psia (760 mm) = -182,48°C
- Kelarutan dalam air = 35 mg/L
- Tekanan kritis = 45,802 atm
- *Specific gravity* = 0,415

Sifat kimia dari gas metana:

- Tidak berbau dan berwarna
- Tidak larut dalam air
- Tidak beracun
- Eksplosif pada konsentrasi 10-15%

Komposisi:

- CH₄ = 91,9%
- CO₂ = 7,8
- Air = 0,3%

II.3.2.2 PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*) (CaCO₃)

- Berat molekul (g/mol) = 100
- Ukuran = 2μm
- Titik Lebur (°C) = 825
- *Bulk Density* (g/cm³) = 0,55-0,65
- Cp pada 25°C (kal/mol) = 19,568
- ΔHf° (Kcal/Kmol) = 288,46
- ΔGf° (Kcal/Kmol) = 269,79
- Kelarutan dalam air (mol/L) = 0,00015 (pada 25°)

Komposisi:

- CaCO₃ = 99%
- Air = 1

BAB III

SELEKSI DAN URAIAN PROSES

Dalam proses purifikasi biogas, perlu dianalisa bahan-bahan apa saja yang dapat mengambil zat-zat yang tidak diinginkan dalam proses pemurnian biogas menjadi biometana. Bahan-bahan yang berbeda akan memerlukan proses yang berbeda-beda pula, proses yang beragam tersebut akan dijelaskan pada subbab-subbab berikut:

III.1 Macam-Macam Proses

III.1.1 Proses Purifikasi Biogas

Macam-macam proses purifikasi biogas adalah sebagai berikut:

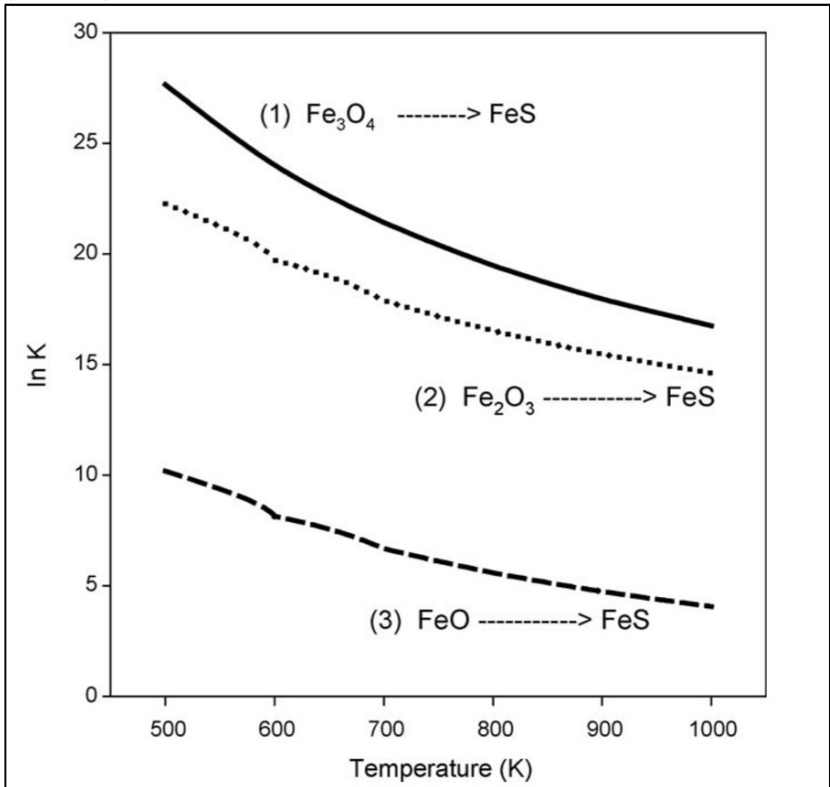
III.1.1.1 Proses *Sweetening* H₂S

Tujuan dilakukannya *sweetening* H₂S adalah untuk menghilangkan H₂S yang terkandung dalam biogas guna mengurangi proses terjadinya korosi pada pipa atau alat yang ada pada proses purifikasi biogas selanjutnya. Selain itu, keberadaan H₂S pada biogas dapat berbahaya apabila digunakan sebagai bahan bakar. Pembakaran H₂S akan menghasilkan senyawa SO₂ yang bersifat toksik dan menyebabkan hujan asam. Adapun proses *sweetening* H₂S dapat dilakukan dengan bermacam-macam adsorben maupun absorben seperti pada berikut:

III.1.1.1.1 Adsorpsi menggunakan *Laterite Soil (Molecular Sieve Bed)*

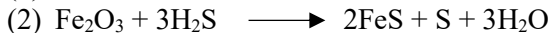
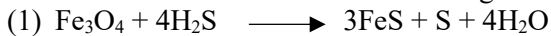
Adsorpsi merupakan metode pemisahan suatu zat dimana molekul fluida berkontak dan mengenai permukaan suatu padatan. Salah satu tipe adsorben yang dapat digunakan adalah *laterite soil*. *Laterite soil* memiliki harga relatif yang murah dan mudah didapat, dengan perkiraan 1,39 milyar MT *laterite soil* yang terdapat di Indonesia. *Laterite soil* merupakan produk sisa dari proses pelapukan kimiawi yang meliputi batu dibawah kondisi oksidasi kuat dan peluluhan. *Laterite soil* mengandung sejumlah oksida besi

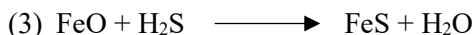
dalam bentuk hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4), dan goetit (FeOOH).



Gambar III.1 Konstanta Equilibrium untuk menghilangkan H_2S dengan variasi besi oksida

Dari Gambar III.1, konstanta equilibrium sulfidasi dari Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 lebih besar dari FeO . Pada kondisi atmosferik, oksida besi awalnya tereduksi mengikuti reaksi sulfidasi. Namun jika suhunya melebihi 773 K, Fe_2O_3 atau Fe_3O_4 tereduksi menjadi wustit (FeO), yaitu reaktan H_2S yang tidak diinginkan. Adapun proses sulfidasi dari *laterite* soil adalah sebagai berikut:





Dari hasil reaksi diatas, proses adsorpsi *laterite* soil seakan-akan tidak diinginkan berada di suhu yang tinggi. Namun, beberapa studi menyatakan bahwa proses desulfurisasi optimum pada suhu yang diatur diantara 623-823 K. Lebih dari *range* suhu tersebut, efisiensi dan teknis dari proses tersebut mengurangi harga keseluruhan proses tersebut. Selain itu, banyak adsorben yang mampu mengurangi konsentrasi H₂S dibawah level maksimum toleransi konsentrasi H₂S (10 ppm) karena kesetimbangan termodinamikanya berada pada suhu 623-823 K. Hal ini lah yang membuktikan bahwa *laterite* soil cocok sebagai adsorben penghilang H₂S pada suhu tinggi. Selain itu, *laterite* soil juga mampu mengadsorpsi 50% H₂S saat proses adsorpsi dilakukan selama 60 menit.

(Tzu-Hsing Ko, 2006)

III.1.1.1.2 Absorpsi menggunakan *Monoethanolamine* (MEA)

Larutan MEA umumnya memiliki 10-20% berat di dalam air. Untuk mencegah korosi, biogas yang mengandung H₂S biasanya dibatasi konsentrasinya dari 0,3-0,35 mol gas asam per mol amina untuk alat berbahan *carbon steel*, sedangkan untuk bahan stainless steel biasanya berkisar 0,7-0,9 mol/mol tanpa adanya permasalahan korosi. Walaupun MEA sendiri tidak bersifat korosif, namun produk degradasinya sangatlah korosif. MEA harus bereaksi dengan agen oksidasi seperti COS, CS₂, SO₂, SO₃, dan oksigen untuk membentuk larutan produk yang akan dihilangkan dari sistem sirkulasi untuk menghindari korosi.

Degradasi atau deaktivasi MEA akan mengurangi konsentrasi amina yang efektif untuk mengabsorpsi, namun *reclaimer* dapat merecover banyak amina yang terdeaktivasi. Karena MEA merupakan amina primer, MEA memiliki pH yang tinggi sehingga memungkinkan larutan MEA memproduksi *sweetened gas* kurang dari ¼ grain H₂S per 100 SCF pada tekanan parsial yang sangat rendah. Panas reaksi dari MEA dengan H₂S adalah 550 BTU/lb. Perlu diingat bahwa panas reaksi dari seluruh

amina adalah fungsi dari muatan dan beberapa kondisi dan biasanya bervariasi hanya dari 50-60 BTU/lb untuk 0,5 mol/mol total muatan gas asam. Diatas muatan ini, panas reaksi yang bervariasi perlu diperhitungkan sebagai fungsi dari muatan.

(Polasek, 1994)

III.1.1.1.3 Absorpsi menggunakan *Diethanolamine* (DEA)

Larutan DEA umumnya memiliki 25-35% berat di dalam air. Total beban *acid gas* untuk DEA juga dibatasi dari 0,3-0,35 mol/mol untuk alat berbahan *carbon steel*, sedangkan beban *acid gas* untuk alat berbahan *stainless steel* adalah sebesar 1 mol/mol. Produk dari degradasi DEA jauh lebih tidak korosif dibandingkan MEA. Paparan DEA terhadap oksigen membentuk asam korosif, COS, dan CS₂ yang mungkin bereaksi secara ireversibel dengan DEA. Karena DEA merupakan alkanolamina sekunder, DEA memiliki afinitas H₂S yang kurang dan mungkin tidak mampu memproduksi gas dengan spesifikasi *pipeline* pada aliran gas bertekanan rendah. Secara umum, saat tekanan gas diturunkan, stripping steam harus dinaikkan atau desain aliran yang terbagi harus digunakan.

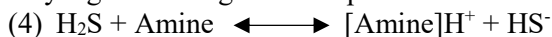
Dalam beberapa kondisi, seperti pada tekanan rendah dan *liquid residence time* diatas *tray* selama 2 detik, DEA menjadi selektif terhadap H₂S supaya H₂S masih tersisa di dalam sales gas. Dalam kasus ini, absorpsi selektif tidak diinginkan namun tetap ditemukan karena rendahnya tekanan kontakor sebesar 11 psig dan *liquid residence time* yang pendek diatas *tray*. *Feed gas* dengan rasio H₂S/CO₂ > 1 kemungkinan akan menghilangkan kelicinan CO₂ secara signifikan dan juga memproduksi ¼ grain H₂S/100 SCF sales gas. Panas reaksi DEA dengan H₂S adalah 511 BTU/lb.

(Polasek, 1994)

III.1.1.1.4 Absorpsi menggunakan *Methyldiethanolamine* (MDEA)

Larutan MDEA umumnya memiliki 20-50% berat di dalam air. Total beban *acid gas* untuk MDEA juga dibatasi dari

0,7-0,8 mol/mol untuk alat berbahan *carbon steel*. Paparan dari MDEA dengan oksigen membentuk asam korosif yang apabila tidak dihilangkan dari sistem akan dapat menghasilkan sulfida besi di dalam sistem. MDEA memiliki beberapa kelebihan yang berbeda dibandingkan amina primer dan sekunder yaitu tekanan uap yang rendah, panas reaksi yang rendah (522 BTU/lb H₂S), lebih tahan terhadap degradasi, korosi yang lebih sedikit, dan selektivitas terhadap H₂S saat terdapat CO₂. Pada rasio CO₂/H₂S yang tinggi, kandungan CO₂ yang banyak mampu melewati absorber menuju *sales gas* sementara menghilangkan banyak H₂S. MDEA mampu bereaksi dengan H₂S dengan mekanisme transfer proton yang sama dengan amina primer dan sekunder:



Absorpsi selektif terhadap H₂S dapat ditingkatkan dengan mengoptimisasi desain absorber untuk mencapai *liquid tray residence time* antara 1,5-3 detik dan dengan menaikkan suhu di dalam absorber. Kedua kondisi ini mendukung absorbs H₂S dengan rejeksi CO₂.

Tabel III.1 Data dan Kondisi Operasi Amina

Amina:	MEA	DEA	MDEA
Konsentrasi Larutan, wt %	15 – 20	25 – 35	20 – 50
Beban Gas Asam, mol/mol (<i>carbon steel</i>)	0,3 – 0,5	0.3 – 0.35	<i>Unlimited</i>
Kemampuan Absorpsi selektif H ₂ S	Tidak ada	Pada Kondisi tertentu	Pada Kebanyakan Kondisi

(Polasek, 1994)

III.1.1.2 Proses Absorpsi CO₂

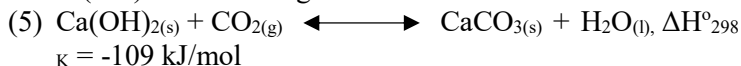
Gas CO₂ dalam biogas perlu dihilangkan karena gas tersebut dapat mengganggu proses Pembakaran atau mengurangi nilai kalor pembakaran biogas. Pada tahap ini gas yang dihilangkan adalah CO₂ sebagai produk samping dari reaksi pembentukan biogas. CO₂ bersifat korosif terhadap logam dan dapat menyebabkan korosi sehingga perlu dihilangkan karena biogas akan digunakan sebagai bahan bakar *gas engine*. Ada beberapa metode pemurnian biogas (*CO₂ removal*), antara lain: absorpsi fisika, absorpsi kimia, adsorpsi, pemisahan dengan membran, *cryogenic* dan konversi kimia menjadi senyawa lain. Pada pabrik ini, pemurnian biogas dilakukan dengan mereaksikan CO₂ dengan susu kapur sehingga menghasilkan produk berupa *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC).

III.1.1.2.1 Absorpsi dengan Ca(OH)₂

Larutan Ca(OH)₂ biasa digunakan sebagai pelarut kimia untuk mendemonstrasikan kemampuan dan efektifitas pengabsorbsian CO₂ dan H₂S dari biogas. Parameter operasi yang berbeda digunakan yang melibatkan konsentrasi larutan air kapur dan laju alir biogas.

Pengayaan CH₄ berbanding lurus dengan penghilangan zat pengotor di dalam biogas. Konsentrasi larutan Ca(OH)₂ memiliki peran penting terhadap efisiensi penghilangan CO₂. Dengan meningkatnya konsentrasi larutan Ca(OH)₂, efisiensi penghilangan CO₂ menjadi lebih tinggi. Laju alir masuk dari biogas ke dalam larutan air kapur merupakan parameter penting terhadap absorpsi CO₂.

Reaksi keseluruhan pengambilan CO₂ menggunakan larutan Ca(OH)₂ adalah sebagai berikut:



Reaksi tersebut secara termodinamis dapat dilakukan pada rentang suhu ruang sampai 750°C, dan laju reaksinya sangat cepat di dalam larutan. Reaksi tersebut juga melibatkan beberapa reaksi individu

seperti penguraian Ca(OH)_2 dan produksi HCO_3^- . Beberapa reaksi individu dapat berlangsung tanpa pengaruh pH, sementara reaksi lainnya terbatas pada jangkauan pH tertentu.

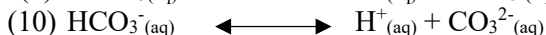
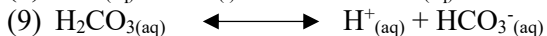
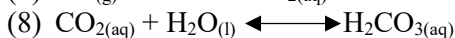
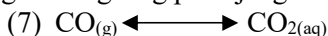
Reaksi penguraian Ca(OH)_2 di dalam air adalah sebagai berikut:



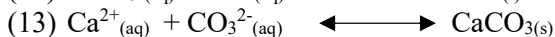
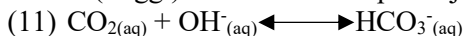
Kelarutan Ca(OH)_2 di dalam air secara negative berkorelasi dengan suhu seperti pada persamaan berikut:

$$\text{Kelarutan Ca(OH)}_2 \text{ (g/kg larutan)} = -0,0108T(^{\circ}\text{C}) + 1,7465$$

Maka, kelarutan Ca(OH)_2 saat 25°C adalah 1,48 g/kg larutan. Reaksi ini dapat menjadi langkah yang mengatur laju dari reaksi secara keseluruhan. Ion OH^- yang terurai bereaksi dengan CO_2 di dalam air membentuk ion asam karbonat. Ion asam karbonat umumnya terbentuk dalam bentuk CO_3^{2-} dan HCO_3^- dengan jangkauan pH dari $\text{pH} > 10,5$ dan $6,5 < \text{pH} < 10,5$ secara berurutan. Pada $\text{pH} < 6,5$, $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}$ menjadi komponen yang utama. Maka, CaCO_3 tidak akan terendapkan pada pH dibawah 10 karena ketidakterediaan CO_3^{2-} . Sementara, produksi CaCO_3 sedikit terlarut pada kondisi asam saat pH dibawah 6,5. Reaksi individu yang berlangsung pada jangkauan pH: disusun pada reaksi 7-10.



Reaksi 7 dan 9 berlangsung sangat cepat. Reaksi 8 dapat menjadi pengontrol laju karena laju reaksinya relatif lambat, kecuali pada pH yang tinggi. Reaksi 10 lebih cepat dari reaksi 8 dan lebih lambat dari reaksi 5. Reaksi individu yang berlangsung pada $10 < \text{pH} < \text{nilai awal (tinggi)}$: reaksi 11-13 dapat terjadi pada rentang ini.

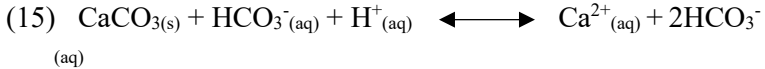
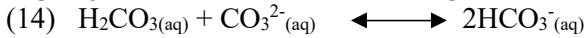


Laju reaksi 12 lebih cepat daripada reaksi 11, dan reaksi 13 bereaksi seketika. Maka reaksi 11 dapat menjadi pengontrol laju di rentang ini. CaCO_3 diproduksi menurut reaksi 13, yang mana

nukleasi CaCO_3 pada pH lebih dari 12,5 diikuti secara berurutan oleh pengendapan dan menumpuk hingga pada pH 10.

Reaksi individu yang berlangsung dalam $7 < \text{pH} < 10$: kedua reaksi 11 dan 12 juga mungkin terjadi di rentang ini. Namun reaksi 11 lebih cepat dibandingkan reaksi 12, yang membuat konsentrasi HCO_3^- lebih tinggi daripada CO_3^{2-} di dalam larutan. Maka CaCO_3 sedikit diproduksi di rentang ini.

Reaksi individu pada $\text{pH} < 7$: dimana konsentrasi HCO_3^- dan H^+ meningkat di rentang sebelumnya, larutan tersebut menjadi lebih asam sesuai dengan reaksi 14, mengarah kepada pelarutan sebagian jumlah dari CaCO_3 sesuai dengan reaksi 15.

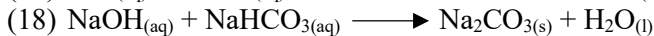
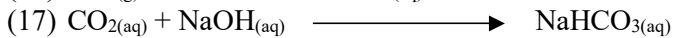
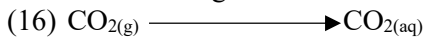


CaCO_3 mulai terlarut ke dalam bentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$, yang mana merupakan zat yang lebih mudah larut. Jika CO_2 secara terus-menerus dimasukkan ke dalam larutan, penguraian CaCO_3 terus berlanjut selama kondisi quasi-equilibrium dan akhirnya berhenti pada saat equilibrium.

(Sang-Jun Han, 2011)

III.1.1.2.2 Absorpsi dengan NaOH

Pemurnian biogas dari CO_2 bisa dilakukan dengan melewati biogas ke dalam larutan NaOH sehingga terjadi proses Absorpsi. Gas CO_2 langsung bereaksi dengan larutan NaOH sedangkan CH_4 tidak. Dengan berkurangnya konsentrasi CO_2 sebagai akibat reaksi dengan NaOH, maka perbandingan konsentrasi CH_4 dengan CO_2 menjadi lebih besar untuk konsentrasi CH_4 . Absorpsi CO_2 dari campuran biogas ke dalam larutan NaOH dapat dilukiskan sebagai berikut:



Dalam kondisi alkali atau basa, pembentukan bikarbonat dapat diabaikan karena bikarbonat bereaksi dengan OH⁻ membentuk CO₃²⁻.

(Maarif, 2009)

III.1.1.2.3 Adsorpsi dengan Zeolit

Zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat terhidrasi dengan kation natrium, kalium dan barium. Secara umum, zeolit memiliki molekuler struktur atom system dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Di beberapa tempat di jaringan ini, atom system digantikan dengan atom aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom oksigen. Atom aluminium ini hanya memiliki muatan 3⁺, sedangkan system sendiri memiliki muatan 4⁺. Keberadaan atom aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan system. Muatan system inilah yang menyebabkan zeolit mamou mengikat kation.

Zeolit pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik. Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation K⁺, Na⁺, Ca²⁺, atau Mg²⁺, sedangkan zeolit sintetik biasanya hanya mengandung kation-kation K⁺ atau Na⁺. Pada zeolit alam, adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, Na₂O, K₂O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Inilah system mengapa zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300-400°C dengan udara panas atau dengan system vakum untuk melepaskan molekul air. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan Na₂EDTA atau asam-asam anorganik seperti HF, HCl, dan H₂SO₄ untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori.

Pemisahan kandungan CO₂ dalam biogas dapat dilakukan dengan menggunakan zeolit karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Pemisahan kandungan CO₂ dalam biogas dilakukan dengan mengalirkan biogas kedalam *purifier* yang didalamnya terdapat zeolit. Zeolit tersebut akan mengadsorpsi gas CO₂ yang melewati alat *purifier*.

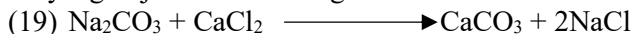
(Sugiarto, 2013)

III.1.2 Proses Pembentukan PCC

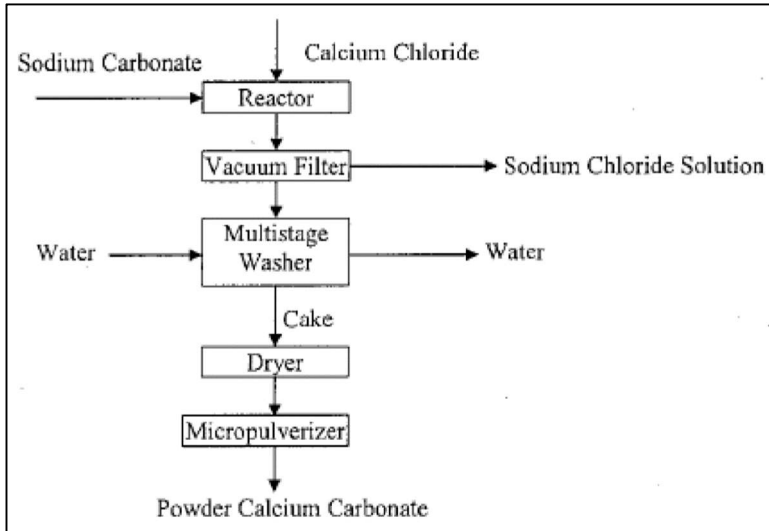
Precipitated Calcium Carbonate (PCC) adalah senyawa kimia yang memiliki rumus CaCO₃. Akan tetapi PCC memiliki struktur kristal yang berbeda yang biasa disebut dengan kalsit. Benruk lain adalah struktur struktur yang biasa disebut dengan aragonite, yang lebih sedikit ditemukan. Secara umum, PCC diproduksi dengan 3 cara yaitu *Carbonation Method*, *Calcium Chloride-Sodium Carbonate Double Decomposition Method*, dan *Lime-Soda Method*. Macam-macam proses pembentukan PCC adalah sebagai berikut:

III.1.2.1 *Calcium Chloride-Sodium Carbonate Double Decomposition Method*

Pada tahun 1997, produksi PCC secara signifikan meningkat dengan manufaktur synthetic soda ash. Larutan soda ash bereaksi dengan larutan kalsium klorida murni menghasilkan kalsium karbonat dan sodium klorida sebagai produk samping. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Blok diagram dapat dilihat **Gambar III.2**



Gambar III.2 Proses Pembuatan PCC dengan Metode Double Decomposition

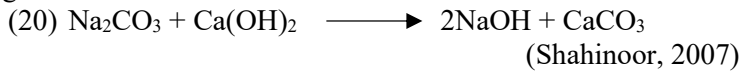
(Shahinoor, 2007)

Proses ini adalah yang paling sederhana dibanding tiga proses lainnya. Namun membutuhkan kalsium klorida dengan biaya rendah agar menarik secara ekonomi. *Plant* komersil berada di Solvay dengan fasilitas proses *synntethic ash*. *Sodium chloride* sulit untuk dicuci dari filter cake karbonat dan dihilangkan pada fasilitas waste treatment. Variabel dalam operasi prosesnya antara lain waktu, laju dan metode agitasi, konsentrasi, pH, dan temperature reaksi.

III.1.2.2 Lime-Soda

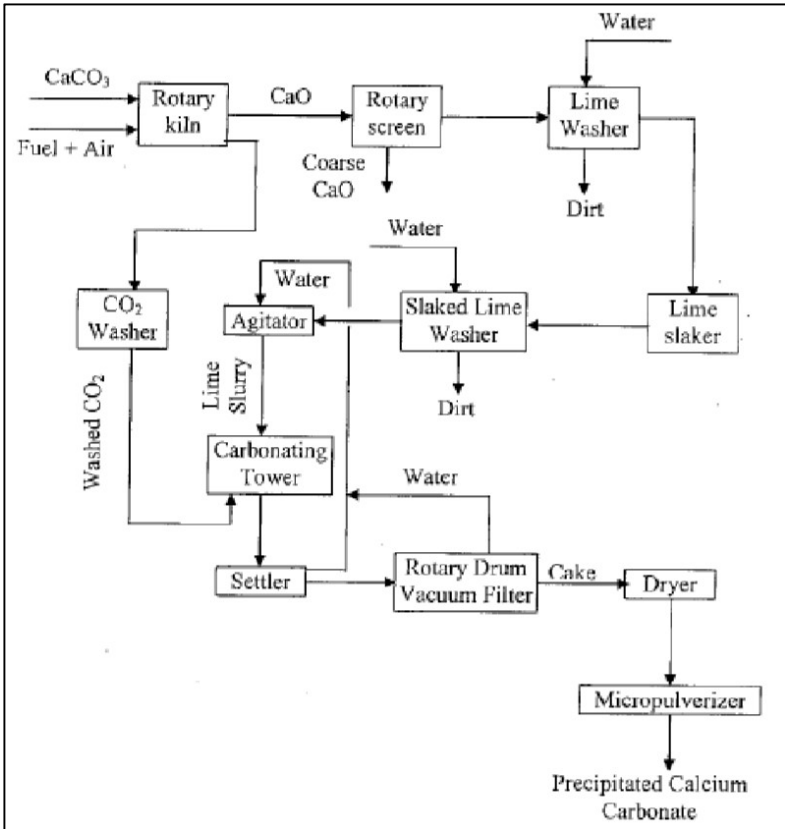
Proses *Lime-Soda*, disebut juga kausitasi, merupakan metode klasik untuk menghasilkan soda kaustik (soda hidroksida). Proses ini biasanya digunakan oleh pabrik alkali, dimana tujuan utamanya adalah me-recovery sodium hidroksida sedangkan *precipitated calcium carbonate* mentah hanya sebagai *by-product*. Pada proses ini, larutan sodium karbonat direaksikan dengan

kalsium hidroksida berlebih untuk menghasilkan sodium hidroksida cair dan *by-product* berupa *precipitated calcium carbonate* (PCC). Proses berlangsung pada suhu 3060oC dengan konversi rata-rata < 90 %. Kualitas PCC yang dihasilkan dari proses ini kurang baik karena distribusi ukuran partikel PCC sangat beragam serta kandungan residu Ca(OH)₂ yang berlebih. Selain itu, pembuatan kaustik soda dengan metode ini mulai digantikan dengan metode elektrolisis.



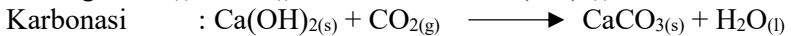
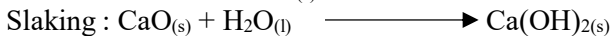
III.1.2.3 Carbonation Method

Limestone dikalsinasi di dalam kiln untuk membentuk karbon dioksida dan *quicklime*. Secara umum, produk-produk ini dipurifikasi secara terpisah sebelum digabungkan kembali. *Quicklime* dicampur dengan air sehingga menghasilkan *milk of lime* atau *dry hydrated lime* dimana keduanya adalah kalsium hidroksida. Ketika *dry hydrate* digunakan pada proses selanjutnya maka air akan ditambahkan untuk menghasilkan *milk of lime slurry*. **Gambar III.3** menunjukkan proses produksi PCC dengan metode karbonasi.



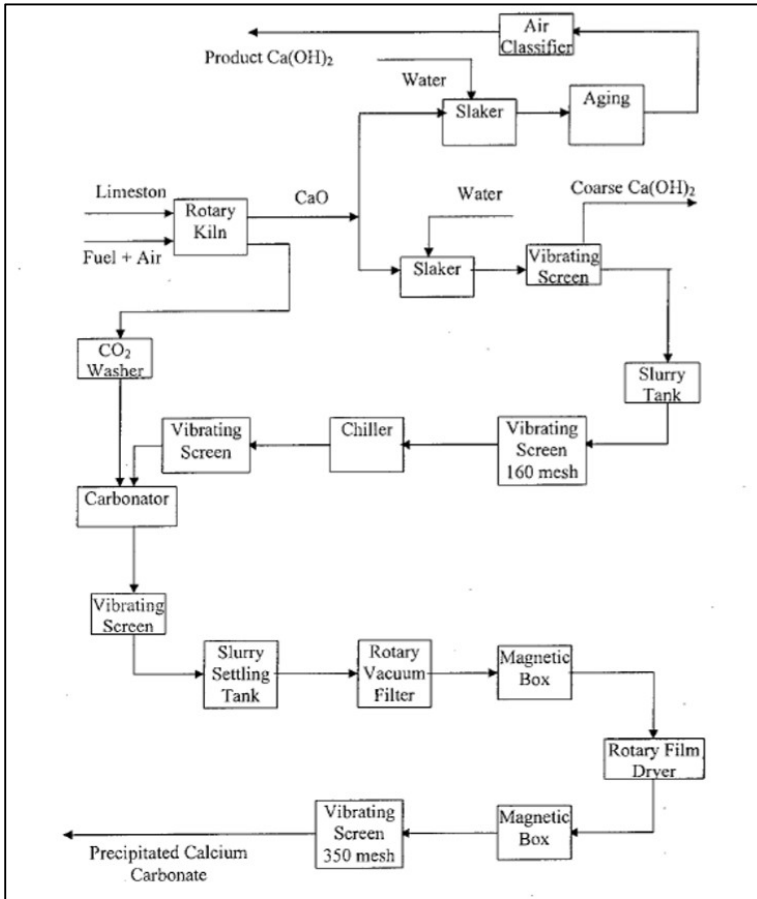
Gambar III.3 Proses pembuatan PCC dengan metode karbonasi (Shahinoor, 2007)

Pada proses karbonasi, karbon dioksida yang telah didinginkan dan dipurifikasi akan dilewatkan dalam bentuk gelembung melewati *milk of lime* pada reaktor yang disebut karbonator. Di akhir proses ini akan ada pengukur pH. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Produk karbonasi selanjutnya dapat lebih jauh dipurifikasi dengan menghilangkan zat pengotor yang tersisa pada *milk of lime* sebagai partikel kasar sebagai perbandingan untuk ukuran mikrometer. Penyaringan ini juga digunakan untuk mengontrol ukuran maksimum dari produk. Pencucian *filter cake* tidak diperlukan dikarenakan air adalah satu-satunya produk samping dari karbonasi. Padatan filter cake secara umum mengandung CaCO_3 sebanyak 2560%, dipengaruhi pada ukuran partikel dari PCC. Pengeringan akhir menggunakan *rotary film, tunnel, spray*, atau *flash dryer*. Hasil yang kering biasanya tidak terintegrasi dalam micropulverizer. Penggilingan material diangkut menuju *storage bin* yang besar untuk *bulk loading* atau *packing* dalam karung.

Beberapa kelas pelapisan dapat digunakan untuk aplikasi yang spesial. PCC dilapisi untuk meningkatkan *flow properties, processing*, dan *physical properties* dari produk akhir. Asam lemak, resins, dan agen basah digunakan sebagai material pelapisan sebelum atau sesudah pengeringan. Crescent chemicals melakukan *set up* pada plant untuk produksi PCC di dekat Dhaka. Block diagram pada plant tersebut dapat dilihat pada **Gambar III.4**



Gambar III.4 Pembuatan PCC pada Plant Dhaka
(Shahinoor, 2007)

III.1.3 Proses Pre-Treatment Limbah Industri Gas Asetilen

Gas asetilen termasuk kedalam golongan hidrokarbon alkuna dengan struktur $\text{CH}\equiv\text{CH}$ yang memiliki sifat toksik, tidak berwarna dan berbau khas. Di Indonesia, gas asetilen umumnya digunakan untuk pengelasan. Gas asetilen dibuat dengan mereaksikan kalsium karbida dengan air:



Gas asetilen (C_2H_2) yang merupakan gas akan terpisah dengan Ca(OH)_2 yang berupa padatan. Limbah dari industri gas asetilen memiliki spesifikasi seperti berikut.

Tabel III.2 Spesifikasi Limbah Industri Gas Asetilen

Senyawa	Konsentrasi (%)	Specific Gravity
Al_2O_3	0,6	3,4-4
SiO_2	0,9	2,2
SO_3	0,3	1,85
CaO	95,37	3,3
Fe_2O_3	0,48	5,29
Y_2O_3	0,25	5
MoO_3	2,1	4,5

(Lita, 2018)

Diinginkanya CaO yang murni untuk pembentukan Ca(OH)_2 maka CaO harus dipisahkan dari pengotor pengotor lainnya yang terdapat dari limbah asetilen. Untuk memisahkan CaO dari pengotor pengotor lainnya dilakukan dengan beberapa tahap. CaO diambil dengan cara proses *gravity settling* dimana CaO dipisahkan dengan pengotor lainnya berdasarkan *specific gravity*. Pertama limbah asetilen yang berbentuk padat dikontakkan dengan air agar lebih mudah dipisahkan, lalu campuran limbah asetilen dengan air masuk ke *gravity settling* dimana Al_2O_3 , MoO_3 dan CaO akan mengendap karena memiliki *settling velocity* yang jauh lebih besar dibanding dengan senyawa lainnya. Untuk CaO , Al_2O_3 dan MoO_3 akan melewati *gravity settling* kembali. Untuk pemisahan lebih lanjutnya di *gravity settling* kedua MoO_3 akan mengendap karena memiliki kecepatan pengendapan yang lebih besar dibanding keduanya, CaO dan Al_2O_3 akan overflow menuju

ke *gravity settling* ketiga dimana di *gravity settling* ketiga CaO akan mengendap lalu menuju ke proses selanjutnya karena memiliki *settling velocity* yang lebih besar dibanding dengan Al₂O₃. Berikut merupakan tabel *settling velocity* tiap komponen dalam limbah industri gas asetilen.

Tabel III.3 *Settling Velocity* Tiap Komponen di dalam Limbah Industri Gas Asetilen

Senyawa	<i>Settling velocity</i> (m/s)
Al ₂ O ₃	0.000233944
SiO ₂	1.40733×10^{-7}
SO ₃	4.63304×10^{-15}
CaO	0.010926665
Fe ₂ O ₃	7.98877×10^{-9}
Y ₂ O ₃	1.02212×10^{-9}
MoO ₃	0.049681738

Proses selanjutnya adalah slaking, slaking adalah proses reaksi antara hasil kalsinasi dari senyawa CaO aktif dengan H₂O yang akan melarutkan unsur kalsium menjadi larutan oksida. Berikut merupakan reaksi kimianya adalah



Untuk proses slaking digunakan alat bernama slaker untuk tempat mereaksikannya CaO aktif dan H₂O. Proses pemilihan slaker seringkali kompleks dan bergantung pada faktor faktor untuk menentukan mana yang terbaik seperti:

- Kegunaan produk
- Kualitas dari air yang digunakan
- Jumlah Ca(OH)₂ yang dibutuhkan

- Kemurnian $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang diharapkan

Maka untuk memenuhi faktor faktor tersebut ada beberapa jenis alat slaker yang ada di pasaran seperti *Detention* atau bisa disebut *Slurry Slakers*, *Paste Slakers*, *Batch Slakers*, *Horizontal Ball Mill Slakers* dan *Vertical Ball Mill Slakers*. Slaker harus bisa mencampurkan CaO dan H_2O dengan tepat. Macam-macam proses Pre-Treatment Limbah Asetilen adalah sebagai berikut:

III.1.3.1 Slaker

III.1.3.1.1 Slurry Slaker

Slurry slaker biasanya menggunakan rasio awal kapur terhadap air sebesar 1:3,3 hingga 1:5 tergantung dari alat dan kualitas CaO dan air. Biasanya, *slurry slaker*, atau biasa disebut *detention type slaker*, terdiri dari 2 ruangan. Ruangan pertama disebut sebagai ruangan *slaking* dimana kapur dan air dicampur. Ruangan kedua biasa digunakan sebagai ruangan penghilang pasir. *Slurry* kapur mengalir dari ruangan pertama ke ruangan kedua. Viskositas *slurry* dikurangi pada ruangan kedua melalui penambahan air dingin agar pasir yang lebih berat turun ke bawah menuju ruangan kedua dimana pasir dinaikkan dan dikeluarkan oleh *screw*.

(Hassibi, 2009)

III.1.3.1.2 Paste Slaker

Paste slaker, seperti pada namanya, melakukan *slaking* kapur ke dalam bentuk pasta. Rasio kapur terhadap air biasanya 1:2,5. *Paste slakers* tersusun padat secara ukuran dan didesain untuk *retention time* selama 5 menit di dalam ruangan *slaking*. Pada *paste slaker*, karena pasta hidroksida terlalu berat untuk dialirkan oleh gravitasi, sepasang pedal horizontal yang berotasi mendorong pasta tersebut kedepan menuju *discharge point*. Saat pasta keluar dari ruangan *slaking*, pasta tersebut diencerkan hingga kira-kira rasio kapur terhadap air adalah 1:4. Pengenceran ini membantu pemisahan pasir oleh gravitasi atau oleh saringan pasir

bergetar eksternal. Konsistensi *slurry* dari *paste slaker* dan *slurry slaker* adalah sama setelah pengenceran penghilangan pasir.

(Hassibi, 2009)

III.1.3.1.3 Ball Mill Slaker

Ball mill slaker merupakan adaptasi dari *ball mill*, yang awalnya didesain untuk *grinding* basah dan kering, untuk proses *slaking* kapur. Dua tipe *ball mill* yang biasa digunakan, horizontal dan vertikal. *Ball mill slaker* biasa digunakan saat:

- Kapasitas yang dibutuhkan terlalu besar untuk *slaker* lainnya.
- Tidak membutuhkan pembuangan pengotor
- Air dalam *slaking* memiliki memiliki sulfat atau sulfit dengan konsentrasi yang tinggi.

Ball mill slaker memiliki harga yang lebih mahal disbanding *paste* atau *slurry slaker*. *Ball mill slaker* tersedia dalam beberapa ukuran mulai dari 1000lb / jam hingga 50 ton / jam. *Ball mill slaker* dilengkapi dengan eksternal *classifier* untuk memisahkan *slurry* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan pengotor atau CaO yang masih berbentuk padatan. Padatan CaO yang masih padatan akan di recycle kembali ke mill untuk mengurangi ukurannya.

(Hassibi, 2009)

III.1.3.1.4 Batch Slaker

Batch slaker mirip dengan *slurry slaker* tetapi perbedaannya *batch slaker* tidak dapat bekerja secara *continuous*. Yang perlu diperhatikan pada *batch slaker* adalah rasio jumlah CaO dan air yang masuk untuk 1 batch. *Batch slaker* digunakan dengan jumlah batch yang kecil secara terus menerus dan *continues slurry slaker* tidak dapat digunakan. *Batch slaker* membutuhkan perawatan dan pemeliharaan yang minimum, oleh karena itu tidak dibutuhkan proses pengontrolan secara terus menerus. Desain *batch slaker* tidak cocok untuk dipasang *grit removal* oleh karena itu, *Batch slaker* menggunakan bubuk CaO yang memiliki ukuran yang kecil sehingga penghilangan *grit* tidak diperlukan.

III.1.4 Separasi Solid-Liquid

Pemisahan solid-liquid melibatkan pemisahan dua fase, yaitu padat dan cair, dari suspensi. Metode ini digunakan dalam banyak proses untuk: 1. *Recovery* komponen padat yang berharga (liquid dibuang); 2. *Recovery* cairan (solid dibuang); 3. *Recovery* baik solid maupun liquid; atau 4. *Recovery* bukan fase liquid maupun solid (misalnya ketika cairan sedang dibersihkan sebelum dibuang dalam usaha pencegahan polusi air).

Setiap desain sistem pemisahan harus mempertimbangkan semua tahapan *pre-treatment*, konsentrasi padatan, pemisahan padatan, dan *post-treatment*. Hal ini mencakup berbagai peralatan dan proses yang dirangkum dalam **Tabel III.4**. *Pre-treatment* terutama diaplikasikan pada *slurry* yang sulit disaring, sehingga bisa lebih mudah untuk disaring. Biasanya melibatkan perubahan sifat padatan yang tersuspensi secara kimia atau fisik, atau dengan menambahkan padatan (bantuan filter) ke suspensi untuk bertindak sebagai zat pengental untuk meningkatkan permeabilitas dari *cake* yang terbentuk selama penyaringan berikutnya. Dalam konsentrasi padatan, bagian dari cairan dapat dihilangkan dengan *thickening* atau *hydrocycloning* untuk mengurangi beban volume keluaran cairan pada filter.

Tabel III.4 Komponen dari Proses Separasi *Solid-Liquid*

Table 1. Components of the solid/liquid separation process

Pre-treatment		
Chemical	Physical	
Flocculation	Crystal growth	
Coagulation	Addition of filter aids	
pH adjustment	Freezing	
	Ageing	
Solids concentration		
Thickening	Clarification	Assisted separations
Gravity	—gravity	—magnetic
Centrifugal sedimenters	—centrifugal	—electric
Hydrocyclones		—dielectric
Delayed cake filters		—acoustic
—high-shear crossflow		
Low-shear crossflow		
—microfiltration		
Solids separation		
Cake filter	Depth filters	
—pressure	Granular beds	
—vacuum	Cartridges	
—centrifugal	Precoat	
—gravity	Membranes	
Post-treatment		
Filtrate	Cake	
Polishing	Washing	
—microfiltration	—displacement	
—ultrafiltration	—reslurry	
(—reverse osmosis)	Deliquoring	
(—electrodialysis)	—gravity drainage	
	—displacement (gas blowing)	
	—mechanical expression	
	(thermal drying)	

Pemisahan padatan melibatkan filter yang dapat diklasifikasikan dalam berbagai jenis. Untuk tujuan sekarang, dibagi menjadi bagian dimana *cake* terbentuk dan dimana partikel ditangkap di kedalaman media yang memadai. Filter *cake*

selanjutnya dapat dibagi menjadi operasi tekanan, vakum, sentrifugal dan gravitasi.

Proses *post-treatment* melibatkan peningkatan kualitas produk padat atau cair. Dalam kasus filtrat, operasi ini sering disebut sebagai proses *polishing*, dan mungkin melibatkan mikro atau ultrafilters untuk menghilangkan zat yang lebih halus. Pemurnian lebih lanjut dapat melibatkan penghilangan spesies ionik dan makromolekul dengan, misalnya reverse osmosis, pertukaran ion atau elektrodialisis. Proses *post-treatment cake* termasuk mencuci pengotor yang larut dari rongga *cake* dan menghilangkan kelebihan cairan dari rongga *cake*. Pengeringan termal sering kali merupakan tahap akhir penghilangan cairan.

Dalam proses ini diharapkan dapat memisahkan padatan dari cairannya sehingga dapat diperoleh produk PCC yang dengan kandungan air yang sudah berkurang banyak kemudian bisa dikering lagi melalui proses *drying*.

III.1.4.1 Filtrasi

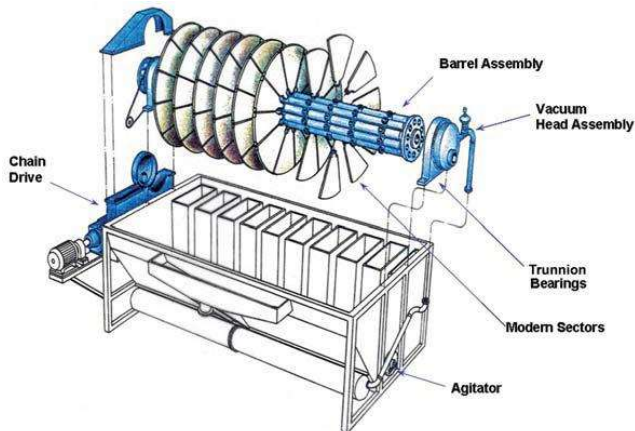
Filtrasi adalah proses yang digunakan untuk memisahkan padatan dari cairan atau gas menggunakan media filter yang memungkinkan fluida melewati filter tetapi padatannya tersaring. Istilah filtrasi berlaku pada beberapa filter baik filter itu bersifat mekanis, biologis, atau fisik. Fluida yang melewati filter disebut filtrat. Media filter dapat berupa *surface filter*, yang merupakan padatan yang menjebak partikel solid, atau filter kedalaman, yang merupakan lapisan material yang memerangkap padatan. Filtrasi biasanya merupakan proses yang tidak sempurna. Sebagian fluida tetap berada di sisi feed filter atau tertanam di media filter dan beberapa partikel padat kecil lolos melalui filter. Dalam bidang Kimia dan Teknik Kimia, selalu ada beberapa produk yang hilang, baik itu cairan atau padatan yang dikumpulkan.

Filtrasi adalah tahap kedua pemisahan padatan-cairan, biasanya setelah proses *thickening*, melalui media berpori. Bantalan filter memungkinkan cairan meresap dan mempertahankan padatan di permukaan luar. Media filter dicuci

dan dibersihkan secara berkala untuk kinerja dan umur panjang yang lebih baik. Filter yang paling banyak digunakan dalam aplikasi pemrosesan mineral adalah disc, drum, dan tipe horizontal. Filtrasi menghasilkan *cake* lembab dengan konsentrasi 80%-90% padatan.

III.1.4.1.1 *Disc Filter*

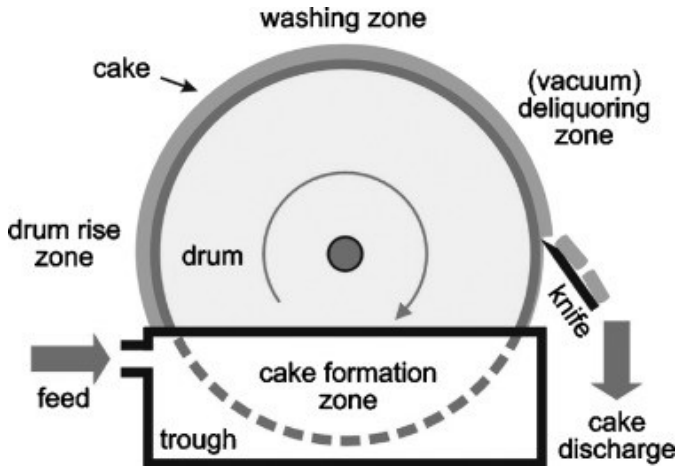
Disc filter digunakan dengan peralatan filtrasi vakum dan terdiri dari beberapa *disc* besar. Setiap *disc* terdiri dari sektor-sektor yang dijepit bersama. *Ribs* yang berada di antara sektor dirancang dalam fusi radial dan menyempit di pusat. *Feed* yang bersifat semidry masuk dari samping filter. *Disc* berputar perlahan sehingga *cake* terbentuk di permukaan *disc* dan *cake* yang bersifat semidry akan terangkat di atas *slurry* yang menyebabkan *cake* menjadi kering kemudian dihilangkan dengan *scraper blades* yang dipasang di sisi masing-masing *disc*. Selanjutnya, dilepaskan dengan mendorong ke saluran peluncuran. Secara umum, *disc filter* digunakan untuk aplikasi tugas berat seperti *dewatering* konsentrat timah-seng-tembaga, *low-grade iron ore taconite*, batubara, dan aluminium hidrat.



Gambar III.5 *Disc Filter*

III.1.4.1.2 Rotary Drum Filter

Rotary drum filter memiliki prinsip yang sama dengan *disc filter*. Drum dipasang secara horizontal dan berputar dengan gerakan lambat. Permukaan drum dibungkus rapat dengan media filter dan dibagi menjadi beberapa bagian, masing-masing terpasang dengan saluran pembuangan. *Filter* sebagian terendam dalam *feed slurry*. Drum berputar perlahan melalui *slurry* dan menghasilkan *cake* yang tersaring saat bergerak keluar dari tempat rendaman. *Cake* yang kering sebagian dihilangkan dengan kombinasi *reverse air blast* dan *automatic scraper knife*.



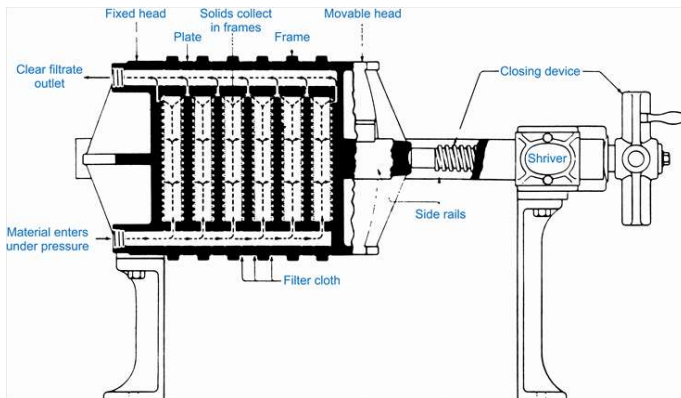
Gambar III.6 Rotary Drum Filter

III.1.4.1.3 Plate and Frame Filter Press

Plate and frame Filter press biasanya tersusun dari pelat-pelat dan bingkai-bingkai. Pada filter ini pelat-pelat dan bingkai-bingkai disusun secara bergantian dengan filter kain dengan arah berkebalikan pada tiap pelat. Pemasangannya dilakukan secara bersamaan sebagai kesatuan gaya mekanik (oleh sekrup / secara hidrolik). Tahapan filtrasi dimulai dari *feed* suspensi masuk melalui saluran yang terbentuk dari lubang-lubang pada pojok kanan atas antara pelat dan bingkai.^[1] Dari saluran ini, suspensi

masuk ke bingkai menuju ruang di antara pelat-pelat. Tekanan pada suspensi diumpungkan pada proses penekanan untuk menghasilkan filtrat. Kemudian, filtrat tersebut menuju ruang-ruang diantara kain dan pelat melalui kain-kain dari kedua sisi pelat ke keluaran yang berupa klep atau menuju saluran kedua yang dibentuk oleh lubang-lubang pada pojok lain dari pelat dan bingkai dengan keluaran yang didukung oleh pelat-pelat tidak oleh bingkai. Baik keluaran melalui saluran atau melalui keran atau klep dan pelat dilubangi atau dibuat dengan filtrat, memasuki keluaran melalui sisi pelat. Padatan dalam suspensi berakumulasi dalam kain pada sisi sebaliknya dari pelat-pelat. Setelah beberapa waktu sebagian kecil ruang diantara pelat tersedia untuk suspensi, dan umpan dimatikan.

Jika *cake* dicuci, fluida pencuci di dalamnya disalurkan ke dalam suspensi atau masukan campuran ke balik suspensi, masuk ke *cake* kurang lebih dari tengah bingkai, dan lewat menuju pelat pada kedua sisi. Setelah *cake* dicuci, aliran ini terhenti, gaya yang menahan pelat dilepaskan, pelat dan bingkai terbuka seketika, dan *cake* dihilangkan atau dibuang ke dalam lubang di bawah penekan. Setelah pembuangan selesai, penekan ditutup lagi dengan memberikan gaya mekanik untuk mengunci pelat dan bingkai bersamaan, dan sebuah siklus baru filtrasi dimulai.



Gambar III.7 Plate and Frame Filter Press

III.1.4.2 Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses yang memungkinkan partikel tersuspensi yang berada di dalam air untuk mengendap keluar dari suspensi di bawah pengaruh gravitasi. Partikel-partikel yang mengendap dari suspensi menjadi sedimen, dan dalam pengolahan air dikenal sebagai *sludge*. Ketika lapisan tebal sedimen terus mengendap atau biasa disebut dengan konsolidasi. Ketika konsolidasi dari sedimen, atau *sludge* dan dibantu dengan cara mekanis maka ini dikenal sebagai metode *thickening*.

Sedimentasi dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi partikel dalam suspensi sebelum penerapan metode koagulasi, untuk mengurangi jumlah bahan kimia koagulasi yang dibutuhkan. Atau, jika koagulasi telah dilakukan, maka dapat digunakan metode flokulasi. Ketika sedimentasi diterapkan setelah koagulasi, tujuannya biasanya untuk mengurangi konsentrasi padatan dalam suspensi sehingga penyaringan selanjutnya dapat berfungsi paling efektif.

Sedimentasi adalah salah satu dari beberapa metode yang diterapkan sebelum filtrasi: opsi lain termasuk flotasi udara terlarut dan beberapa metode penyaringan lainnya. Secara umum, proses pemisahan padatan-cair terkadang disebut sebagai proses klarifikasi. Ada berbagai metode untuk menerapkan sedimentasi yang meliputi: aliran horizontal, aliran radial, pelat miring, *floc ballasted* dan sedimentasi *floc blanket*.

III.1.4.2.1 Thickening

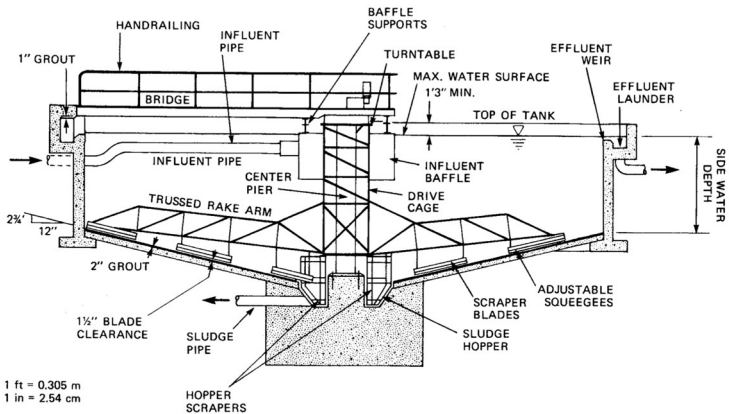
Thickening adalah proses dimana biosolids dikondensasi untuk menghasilkan produk padatan pekat dan supernatant yang relatif bebas padatan. *Thickening* padatan air limbah mengurangi volume residu, meningkatkan operasi, dan mengurangi biaya untuk penyimpanan, pemrosesan, pemindahan, penggunaan akhir, atau pembuangan selanjutnya. Misalnya, *thickening solid-liquid (slurry)* dari 3 hingga 6 persen akan mengurangi volume hingga 50 persen.

Ada beberapa metode berbeda untuk proses *thickening biosolid*, termasuk flotasi udara terlarut (DAF), sentrifugal *thickening*, *gravity belt thickening*, dan *gravity thickening*. *Gravity thickening* menggunakan kecenderungan alami padatan berkepadatan lebih tinggi untuk mengendap dari cairan untuk memekatkan padatan.

III.1.4.2.1.1 Gravity Thickening

Gravity thickening terdiri dari *circular tank* (biasanya dengan *conical bottom*) yang dilengkapi dengan pengumpul atau *scraper* di bagian bawah. Padatan primer dan / atau sekunder dimasukkan ke dalam tangki melalui *center well*, yang melepaskan padatan pada kecepatan rendah di dekat permukaan tangki. Padatan mengendap di dasar tangki karena gravitasi, dan *scraper* perlahan memindahkan endapan (*thickened solid*) ke pipa pembuangan di bagian bawah tangki. Tampungan vertikal yang terletak di bagian atas tangki memungkinkan supernatan untuk kembali ke *clarifier*. Selain itu, banyak sistem juga menggunakan *skimmer* untuk mengumpulkan dan menghilangkan *floatable* dan minyak yang telah menumpuk di bagian atas tangki.

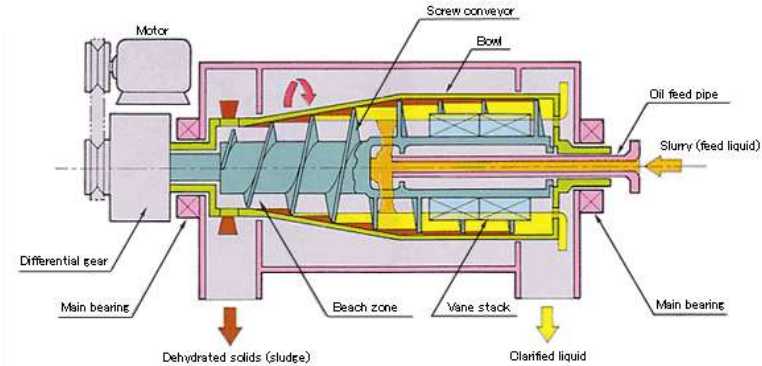
Konsentrasi dan *thickening biosolid* yang terjadi dalam tangki dicapai melalui tiga proses pengendapan berbeda, yang meliputi *gravity settling*, *hindered settling*, dan *compaction settling*. *Gravity settling* terjadi ketika partikel padat bergerak ke bawah karena beratnya. Pengendapan berlanjut ketika padatan mulai memusat di dekat bagian bawah tangki, tetapi laju pengendapan menurun ketika konsentrasi padatan meningkat. Ini dikenal sebagai "*hindered settling*." *Compaction settling* terjadi ketika padatan bawah lebih terkonsentrasi karena tekanan padatan di atasnya. Titik transisi antara cairan jernih dan *thickened solid* yang berkembang di tengah tangki disebut "*solid blanket*."



Gambar III.8 Gravity Thickening

III.1.4.2.1.2 Centrifugal Thickening

Centrifugal thickening dan pengeringan limbah *sludge* adalah proses kecepatan tinggi yang menggunakan gaya dari rotasi cepat *cylinder bowl* untuk memisahkan padatan air limbah dari cairan. *Centrifuges* telah digunakan dalam pengolahan air limbah sejak 1930-an. *Thickening* sebelum pengeringan akan mengurangi jumlah tangki yang dibutuhkan untuk *digestion* dan penyimpanan dengan menghilangkan air. *Dewatering* menghilangkan lebih banyak air dan menghasilkan bahan yang lebih kering yang disebut *cake* yang bervariasi dalam konsistensi dari *custard* hingga tanah yang lembab.



Gambar III.9 *Centrifugal Thickening*

III.1.5 Storage

Industri di mana tangki penyimpanan dapat ditemukan adalah: produksi dan pemurnian minyak bumi, manufaktur petrokimia dan kimia, penyimpanan massal dan operasi transfer, industri lain yang mengonsumsi atau memproduksi cairan dan uap.

III.1.5.1 Fluid Storage

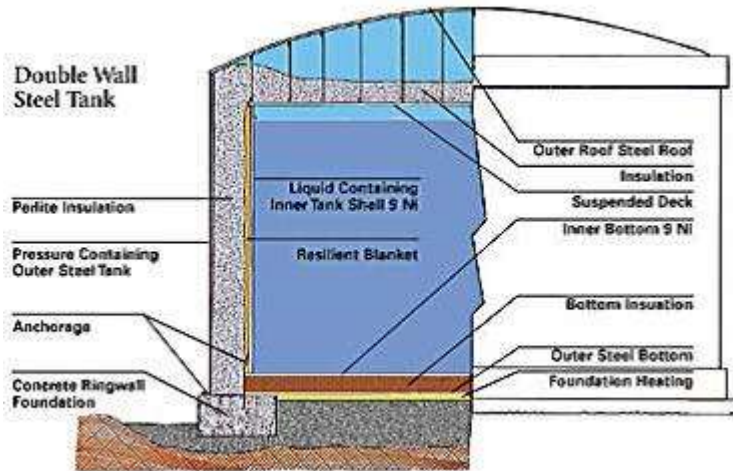
Tangki penyimpanan berisi cairan organik, cairan non organik, uap dan dapat ditemukan di banyak industri. Sebagian besar tangki penyimpanan dirancang dan dibangun sesuai dengan spesifikasi *American Petroleum Institute API-650*. Tangki-tangki ini dapat memiliki ukuran yang berbeda, mulai dari diameter 2 hingga 60 m atau lebih. Mereka umumnya dipasang di dalam wadah penampung untuk menampung tumpahan jika tangki pecah.

III.1.5.1.1 LNG Storage Tank

Tangki penyimpanan gas alam cair atau tangki penyimpanan LNG adalah jenis tangki penyimpanan khusus yang digunakan untuk penyimpanan gas alam cair. Tangki penyimpanan LNG dapat ditemukan di tanah, di atas tanah atau di *LNG carrier*. Karakteristik umum dari tangki penyimpanan LNG adalah kemampuan untuk menyimpan LNG pada suhu yang sangat rendah

-162 ° C. Tangki penyimpanan LNG memiliki wadah ganda, di mana bagian dalam berisi LNG dan wadah luar berisi *insulation material*. Jenis tangki yang paling umum adalah *full containment tank*. Tangki memiliki tinggi sekitar 55 m (180 kaki) dan diameter 75 m.

Dalam tangki penyimpanan LNG jika uap LNG tidak dilepaskan, tekanan dan suhu di dalam tangki akan terus meningkat. LNG adalah *cryogen*, dan disimpan dalam keadaan cair pada suhu yang sangat rendah. Suhu di dalam tangki akan tetap konstan jika tekanan dijaga konstan dengan membiarkan gas mendidih keluar dari tangki. Ini dikenal sebagai pendinginan otomatis.



Gambar III.10 *LNG Storage Tank*

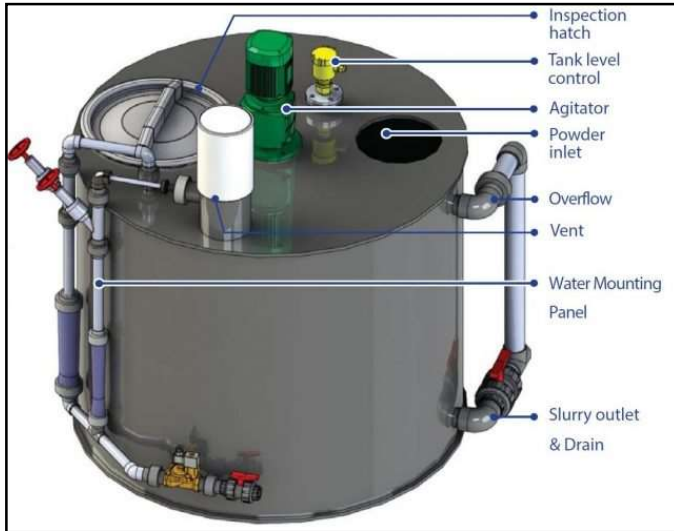
III.1.5.1.2 *Containment Basin*

Wadah penampung produk harus dibangun di sekitar tangki yang terbuat dari batu bata atau beton dan lapisannya harus tahan terhadap cairan yang disimpan untuk mencegah tumpahan yang dapat menyebabkan kebakaran, kerusakan properti atau mencemari lingkungan. Kapasitas minimum volume baskom harus sama dengan kapasitas tangki terbesar ditambah 10% dari jumlah

kapasitas yang lain. Untuk mencegah tumpahan atau keadaan darurat lainnya, dinding bak penampung harus tahan terhadap produk dan harus mampu menahan tekanan yang cukup besar. Katup tiriskan, yang harus dimasukkan ke sisi luar wadah penahanan, harus ditutup untuk mencegah kemungkinan kontaminasi terhadap lingkungan.

III.1.5.1.3 Slurry Tank

Slurry Tank umumnya berisi larutan *slurry* dengan konsentrasi 2-30%. Tipikal larutan *slurry* antara lain bubuk karbon aktif, larutan kapur atau Ca(OH)_2 , polimer, tanah liat, dan kalium permanganat. Bahan *slurry tank* terbuat dari HDPE hitam. *Slurry tank* dilengkapi dengan *agitator*, *overflow*, *drainer*, dan *liquid recirculation*. Ukuran tangkinya biasanya berkisar dari 100-1000 gallon. Adanya *struktur anti-vortex* di dalam *slurry tank* menyebabkan *slurry* yang ada di dalam tangki dihomogenisasi, mampu mengecilkan viskositas keseluruhan melalui pencampuran dan pemecahan (*shearing*). *Filtering sieve system* (yang, tergantung pada aplikasinya dan rangkaian *nozzle dust control* juga dapat ditambahkan) sehingga menciptakan unit bebas debu.



Gambar III.11 *Slurry Tank*

III.1.5.2 *Solid Storage*

III.1.5.2.1 Silo

Silo adalah struktur untuk menyimpan bahan curah (*bulk material*). Silo digunakan dalam pertanian untuk menyimpan biji-bijian atau pakan yang difermentasi yang dikenal sebagai *silage*. Silo biasanya digunakan untuk penyimpanan gabah, batu bara, semen, karbon hitam, woodchip, produk makanan dan serbuk gergaji dalam jumlah besar. Tiga jenis silo digunakan secara luas saat ini: menara silo, silo bunker, dan silo tas.

III.1.5.2.1.1 *Tower Silo*

Tower silo adalah struktur silindris, biasanya berdiameter 10 hingga 90 kaki (3 hingga 27 m) dan tinggi 30 hingga 275 kaki (10 hingga 90 m) dengan silo beton jenis *slipform* dan *jumpform* yang diameternya lebih besar dan lebih tinggi. *Tower silo* dapat dibuat dari banyak bahan seperti kayu, beton, beton cor, dan panel baja serta memiliki berbagai biaya, ketahanan, dan kedap udara. Silo yang menyimpan biji-bijian, semen, dan serpihan kayu

biasanya dibongkar dengan *air-slide* atau *auger*. Silo dapat diturunkan ke *rail car*, truk atau *conveyor*.

Tower silo yang mengandung *silage* biasanya diturunkan dari bagian atas silo, awalnya dengan tangan menggunakan *silage fork* yang memiliki lebih banyak *fork* daripada *pitchfork* biasadan di zaman modern menggunakan pembongkar mekanis. *Unloader* di bagian bawah silo sering digunakan, tetapi memiliki masalah yaitu reparasi yang sulit. Keuntungan dari *tower silo* adalah bahwa *silage* cenderung ter *pack* dengan baik karena beratnya sendiri, kecuali pada beberapa *feet* di atas. Namun, merupakan kerugian untuk barang-barang seperti kayu potong.



Gambar III.12 *Tower Silo*

III.1.5.2.1.2 *Bag Silo*

Bag silo adalah tabung plastik yang berat, biasanya berdiameter 2,4 hingga 3,6 *ft*, dan panjangnya bervariasi sesuai kebutuhan untuk jumlah material yang akan disimpan. *Bag silo* dikemas menggunakan mesin yang dibuat untuk tujuannya, dan disegel di kedua ujungnya. *Bag silo* diturunkan menggunakan traktor dan loader atau *skid-steer loader*. *Bag* dibuang menjadi beberapa bagian saat sobek. *Bag silo* membutuhkan sedikit investasi modal. Mereka dapat digunakan sebagai alternatif sementara ketika kondisi pertumbuhan atau panen membutuhkan lebih banyak ruang, meskipun beberapa pertanian menggunakannya setiap tahun.



Gambar III.13 *Bag Silo*

III.1.5.2.2 *Big Bag*

Big Bag sangat umum digunakan sebagai bejana penyimpanan pada industri bubuk karbon aktif, larutan kapur atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$, polimer, tanah liat, pasir dan soda abu. *Big Bag*

memerlukan alat untuk mengeluarkan larutan Ca(OH)_2 yang ada di dalamnya. *Big Bag Discharger* dilengkapi dengan lengan teleskopik berpegas piringan yang bergetar apabila sensor produk mendeteksi kekurangan produk yang ada di dalam hopper. Perakitan dan pembongkarannya yang mudah menjadikan *Big Bag discharger* ideal untuk mengaplikasikan tes dan trial. Aplikasi yang umum dilakukan adalah pengolahan *sludge* dan *slurry*. *Big Bag* umumnya didesain untuk menampung kapasitas sebesar 35 ft^3 dan 70 ft^3 .



Gambar III.14 *Big Bag*

III.1.6 Peralatan Transportasi

Peralatan transportasi digunakan untuk memindahkan material dari satu lokasi ke lokasi lain.

III.1.6.1 Transportasi Solid

III.1.6.1.1 *Conveyor*

Conveyor system adalah bagian umum dari *mechanical handling equipment* yang memindahkan material dari satu lokasi ke lokasi lain. *Conveyor* sangat berguna dalam aplikasi yang melibatkan pengangkutan material berat dan besar. *Conveyor system* memungkinkan transportasi cepat dan efisien untuk berbagai bahan, yang membuatnya sangat populer di industri penanganan material dan *packaging*. Banyak jenis *conveyor* yang tersedia dan digunakan sesuai dengan berbagai kebutuhan industri yang berbeda.

III.1.6.1.1.1 Belt Conveyor

Belt conveyor system terdiri dari dua atau lebih katrol (kadang-kadang disebut drum), dengan media pembawa (*loop*) yang tak berujung. Satu atau kedua katrol diberi daya sehingga bisa menggerakkan sabuk dan material pada *belt*. Katrol bertenaga disebut katrol penggerak sedangkan katrol tidak berdaya disebut katrol *idler*. Ada dua jenis *belt conveyor* dalam industri yaitu jenis *material handling* yang umum seperti kotak yang bergerak di dalam pabrik dan *bulk material handling* seperti yang digunakan untuk mengangkut sumber daya dan bahan pertanian dalam volume besar, seperti biji-bijian, garam, batu bara, bijih, pasir, lapisan penutup dan banyak lagi. *Belt conveyor* adalah jenis *conveyor* yang paling umum digunakan karena merupakan *konveyor* yang paling fleksibel dan paling murah.

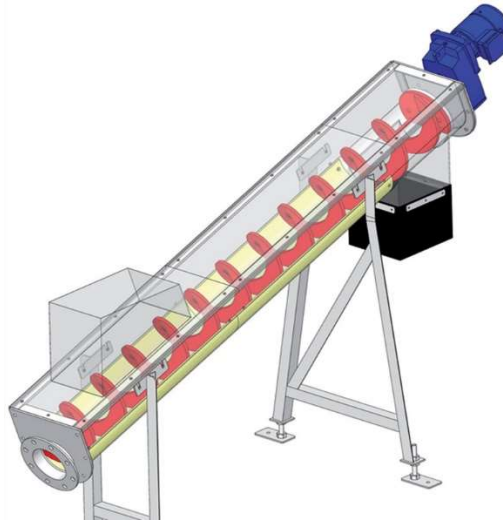


Gambar III.15 *Belt Conveyor*

III.1.6.1.1.2 *Screw Conveyor*

Screw Conveyor atau *auger conveyor* adalah mekanisme yang menggunakan *rotating helical screw blade*, atau yang disebut "*flighting*", biasanya ada di dalam tabung dan digunakan untuk memindahkan material cair atau granular. *Screw conveyor* biasanya digunakan di banyak industri *bulk handling*. *Screw conveyor* dalam industri modern sering digunakan secara horizontal atau sedikit miring sebagai cara yang efisien untuk memindahkan bahan semi-padat, termasuk limbah makanan, serpihan kayu, biji-bijian sereal, pakan ternak, abu boiler, daging dan tepung tulang, dan banyak lainnya.

Screw conveyor biasanya terdiri dari palung atau tabung yang di dalamnya terdapat *spiral blade* yang melingkar di sekitar poros yang digerakkan di satu ujung dan ditahan di ujung lainnya, atau "*shaftless spiral*" yang digerakkan di satu ujung dan bebas di ujung lainnya. Laju perpindahan volume sebanding dengan laju rotasi poros. *Screw conveyor* dapat dioperasikan dengan aliran material yang miring ke atas. Ketika ruang memungkinkan, ini adalah metode pengangkatan dan pengangkutan yang sangat ekonomis. Dengan meningkatnya sudut kemiringan, kapasitas unit yang diberikan dengan cepat berkurang.



Gambar III.16 *Screw Conveyor*

III.1.6.2 Transportasi Liquid

III.1.6.2.1 Pump

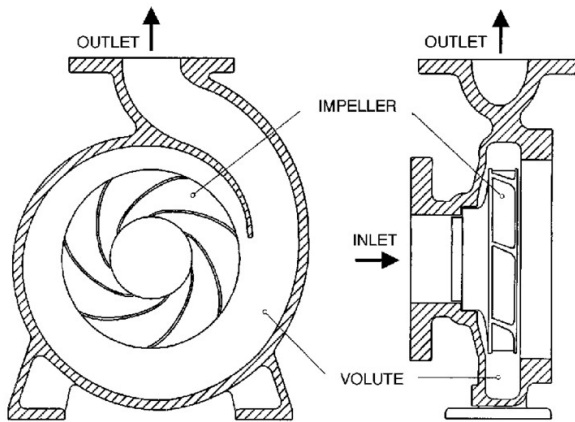
Pump adalah alat yang menggerakkan fluida (cairan atau gas), atau terkadang *slurry*, secara mekanis. *Pump* dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok besar sesuai dengan metode yang digunakan untuk memindahkan fluida yaitu *direct lift*, *displacement*, dan *gravity pump*. *Pump* beroperasi dengan beberapa mekanisme (biasanya berputar), dan mengkonsumsi energi untuk bekerja secara mekanis menggerakkan fluida. *Pump* beroperasi melalui banyak sumber energi, termasuk operasi manual, listrik, mesin, atau tenaga angin dan tersedia dalam berbagai ukuran, dari mikroskopis untuk digunakan dalam aplikasi medis hingga industri besar.

III.1.6.2.1.1 Centrifugal Pump

Centrifugal pump adalah alat mekanis yang dirancang untuk memindahkan fluida dengan cara mentransfer energi rotasi dari satu atau lebih rotor yang digerakkan, yang disebut *impeller*.

Fluida memasuki *impeller* yang berputar dengan cepat di sepanjang sumbunya dan dilepas oleh gaya sentrifugal di sepanjang kelilingnya melalui ujung baling-baling *impeller*. Dengan adanya *impeller* maka akan meningkatkan kecepatan dan tekanan fluida dan juga mengarahkannya ke *outlet* pompa. *Casing* pompa dirancang khusus untuk menyempitkan cairan dari *inlet* pompa, mengarahkannya ke *impeller* dan kemudian memperlambat dan mengontrol cairan sebelum dilepaskan.

Beberapa tipe dari *centrifugal pump* antara lain yaitu *multistage pump*, *circulator pump*, dan *slurry pump*.



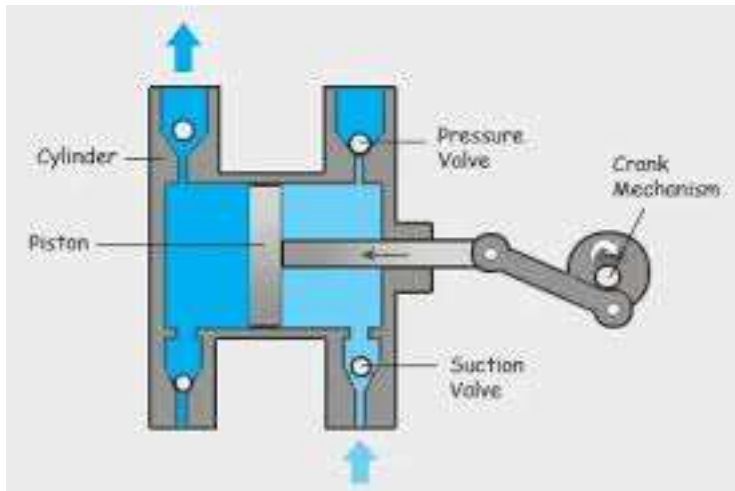
Gambar III.17 *Centrifugal Pump*

III.1.6.2.1.2 *Positive Displacement Pump*

Positive displacement pump adalah alat mekanis yang menggerakkan fluida dengan berulang kali menutup volume tetap dan menggerakkannya secara mekanis melalui sistem. Tindakan pemompaan adalah siklik dan dapat digerakkan oleh piston, *screw*, *gears*, *roll*, diafragma atau baling-baling. Meskipun ada berbagai macam desain pompa, sebagian besar dapat ditempatkan ke dalam dua kategori: *reciprocating* dan *rotating*.

Reciprocating positive displacement pump bekerja dengan gerakan bolak-balik dan berulang (*stroke*) baik pada *piston*, *plunger* atau diafragma. Siklus ini disebut timbal balik. Sedangkan, *rotary positive displacement pumps* menggunakan *gear* yang berputar untuk mentransfer fluida, daripada gerak mundur dan maju dari *reciprocating pump*.

Beberapa tipe dari *positive displacement pump* antara lain yaitu *external gear pump*, *internal gear pump*, *lobe pump*, dan *vane pump*.



Gambar III.18 *Positive Displacement Pump*

III.1.6.3 Transportasi Gas

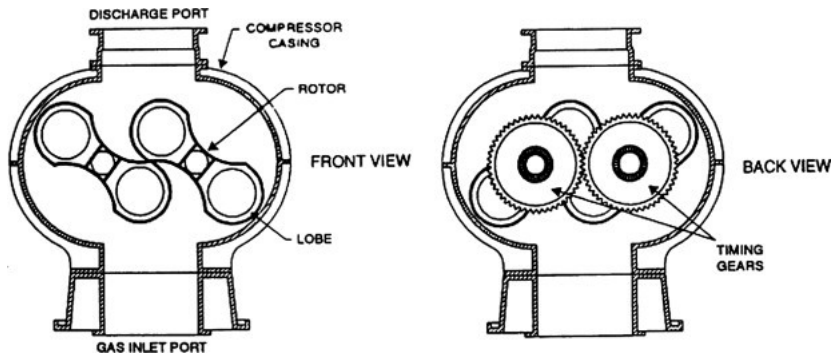
III.1.6.3.1 *Compressor*

Compressor adalah alat mekanis yang meningkatkan tekanan gas dengan mengurangi volumenya. *Compressor* udara adalah jenis khusus kompresor gas. *Compressor* mirip dengan *pump* yaitu keduanya meningkatkan tekanan pada fluida dan keduanya dapat mengangkut fluida melalui pipa. Karena gas bersifat *compressible*, *compressor* juga mengurangi volume gas. *Liquid* relatif bersifat *incompressible*, sementara beberapa dapat di

compress, tindakan utama pompa adalah menekan dan mengangkut cairan.

III.1.6.3.1.1 *Positive displacement compressors*

Positive displacement compressors bekerja dengan aliran konstan terlepas dari tekanan *oulet*. Dalam kompresi *positive displacement*, udara atmosferik ditarik ke dalam satu atau lebih ruang kompresi, yang kemudian ditutup dari saluran masuk (*inlet*). Ketika volume setiap ruang berkurang, udara dikompresi secara internal sampai tekanan mencapai rasio tekanan built-in yang dirancang. Kemudian, katup terbuka dan udara dibuang ke sistem outlet. *Positive displacement compressors* adalah jenis *compressor* yang paling umum digunakan dalam suatu industri yang meliputi beberapa tipe antara lain : *piston compressor*, *screw compressor*, *tooth compressor*, dan *scroll compressor*.

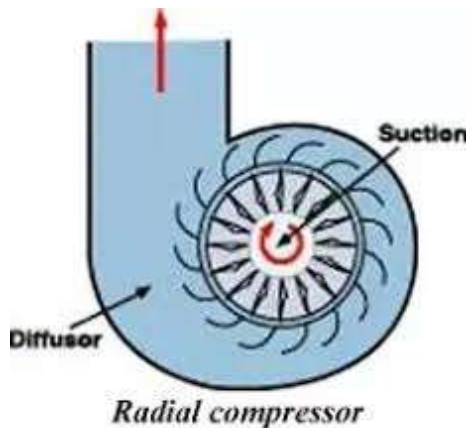


Gambar III.19 *Positive Displacement Compressor*

III.1.6.3.1.2 *Dynamic Compressor*

Tidak seperti *positive displacement compressors*, kompresor dinamis bekerja pada tekanan konstan dan dikategorikan berdasarkan desain aksial atau radialnya. Kinerja kompresor dinamis dipengaruhi oleh kondisi eksternal, seperti perubahan suhu saluran masuk.

Selama kompresi dinamis, udara ditarik di antara *blade* pada *impeller* yang berputar dengan cepat saat berakselerasi ke kecepatan tinggi. Selanjutnya, gas dikeluarkan melalui *diffuser*, di mana energi kinetik diubah menjadi tekanan statis. Tergantung pada arah utama aliran gas, kompresor ini disebut kompresor radial atau aksial, yang semuanya dirancang untuk laju aliran volume yang besar. Kompresor dinamis sering disebut sebagai kompresor turbo karena kemampuannya menghasilkan tenaga kuda yang signifikan.



Gambar III.20 *Dynamic Compressor*

III.1.7 Proses Drying

Pengeringan adalah proses perpindahan massa yang terdiri dari penghilangan air atau pelarut lain dengan penguapan dari padatan, semi padatan atau cairan. Proses ini sering digunakan sebagai langkah produksi akhir sebelum menjual atau mengemas produk. Untuk dianggap "kering", produk akhir harus padat, dalam bentuk lembaran kontinu (misalnya kertas), potongan panjang (misalnya, kayu), partikel (misalnya, biji-bijian sereal atau serpihan jagung) atau bubuk (misalnya pasir, garam, bubuk cuci, susu bubuk). Sumber panas dan agen untuk menghilangkan uap yang dihasilkan oleh proses sering terlibat. Dalam bioproduk

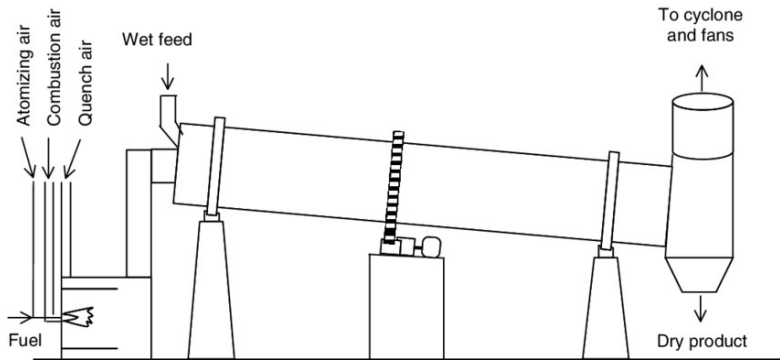
seperti makanan, biji-bijian, dan obat-obatan seperti vaksin, pelarut yang akan dihilangkan hampir selalu mengandung air.

III.1.7.1 *Rotary Dryer*

Rotary dryer juga dikenal sebagai *tumbling dryer* adalah peralatan yang digunakan untuk meminimalkan kadar air dari *feed material* dengan mengontakkan langsung ke gas yang dipanaskan. Terdiri dari drum panjang atau *cylindrical shell* yang sering dilengkapi dengan *internal flight* atau lift; diputar perlahan pada bantalan yang melaluinya sehingga bahan yang akan dikeringkan mengalir dengan gerakan jatuh (untuk bahan yang peka terhadap panas) atau dengan aliran *conter-current* dengan udara atau gas pemanas.

Pergerakan material ini disebabkan oleh efek gabungan dari kecenderungan *shell* ke arah horizontal. Sifat *feed* menentukan arah aliran gas melalui silinder dan relatif terhadap padatan. Peralatan pengeringan ini juga dapat melakukan pemrosesan batch atau kontinyu dari *wet feed*.

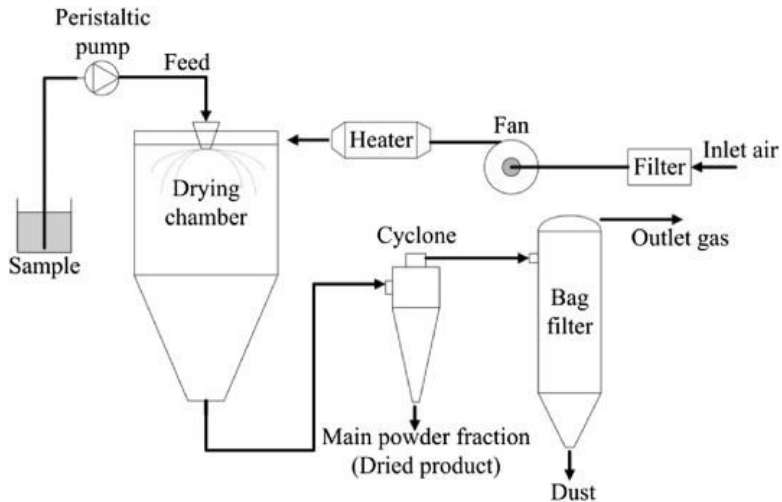
Rotary dryer dapat dikatakan bertipe langsung jika, berdasarkan desainnya, panas ditambahkan atau dihilangkan dari padatan dengan pertukaran langsung antara gas dan padatan. *Direct heat dryer* adalah kategori yang paling sederhana dan yang paling ekonomis. Mereka digunakan ketika kontak langsung dengan gas panas atau udara tidak merusak *feed*. Ketika suhu tinggi diperlukan untuk proses *direct-heated rotary dryer* yang dipanaskan langsung maka digunakan ruang pembakaran dan ketika suhu rendah diperlukan di sisi lain, untuk bahan termolabil, kumparan uap digunakan. *Rotary dryer* juga dapat dikatakan *indirect* ketika media pemanas dipisahkan dari kontak dengan padatan menggunakan dinding logam atau tabung.



Gambar III.21 *Rotary Dryer*

III.1.7.2 *Spray Dryer*

Spray drying adalah operasi unit kontinu yang menggunakan atomisasi cairan untuk menghasilkan tetesan (*droplets*) yang dikeringkan menjadi partikel individu ketika dipindahkan dalam media pengeringan gas panas. *Spray dryer* terdiri dari *feed pump*, *atomizer*, pemanas udara, *air-dispenser*, ruang pengering, dan *system exhaust* serta *powder recovery*. Tiga tahap yang terjadi dalam *spray dryer* sebelum pengeringan dilakukan meliputi: atomisasi, *spray-air mixing* dan penguapan kandungan air, dan pemisahan produk yang kering dari udara yang keluar.



Gambar III.22 *Spray Dryer*

III.1.7.3 *Fluidized Bed Dryer*

Fluidized bed dryer (juga disebut *fluid bed dryer*) adalah jenis peralatan yang digunakan secara luas di industri untuk mengurangi kadar air pada bubuk dan *granule*. *Fluidized bed dryer* bekerja berdasarkan prinsip fluidisasi *feed material*. Dalam proses fluidisasi, udara panas dimasukkan pada tekanan tinggi melalui lapisan berlubang partikulat padat yang lembab. Padatan basah diangkat dari bawah dan digantung dalam aliran udara (keadaan terfluidisasi). Perpindahan panas dilakukan dengan kontak langsung antara padatan basah dan gas panas. Cairan yang diuapkan terbawa oleh gas yang mengering. Terkadang untuk menghemat energi, gas keluar sebagian didaur ulang.

III.1.8 *Size Reduction*

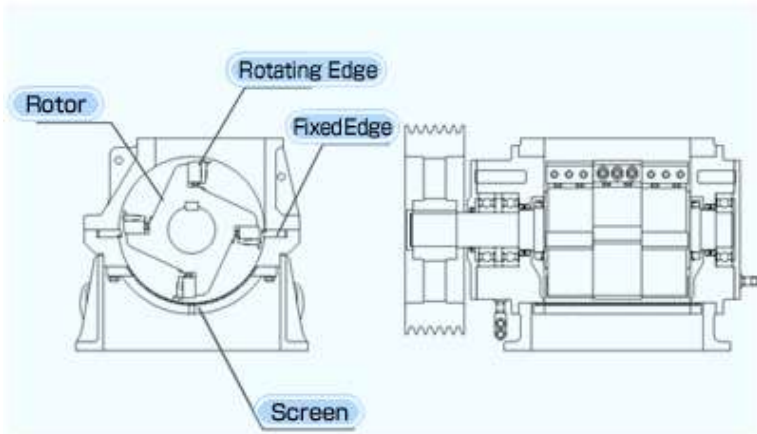
Size reduction adalah proses mengurangi massa satuan padat besar menjadi satuan satuan kecil, partikel kasar atau partikel halus. Proses pengurangan ukuran juga disebut sebagai *comminution* dan *grinding*. Ketika ukuran partikel padatan dikurangi dengan cara mekanis maka disebut sebagai penggilingan

(milling). *Size reduction* bersama dengan pemisahan ukuran memainkan peran yang sangat penting dalam memproduksi bubuk ukuran tunggal yang seragam. Operasi *size reduction* dapat dibagi menjadi dua kategori besar tergantung pada apakah bahannya adalah padatan atau cairan. Jika bahannya padatan, prosesnya disebut *grinding* dan *cutting*, jika itu cairan maka disebut emulsifikasi atau atomisasi. Sangat penting untuk mengetahui sifat-sifat bahan yang akan diproses. Mungkin karakteristik terpenting yang mengatur *size reduction* adalah kekerasan (*hardness*) karena hampir semua teknik *size reduction* melibatkan pembuatan area permukaan baru dan ini membutuhkan penambahan energi yang proporsional pada ikatan yang mengikat partikel *feed*.

III.1.8.1 Rotary Cutter Mill

Rotary cutter mill adalah peralatan *size reduction* yang terdiri dari serangkaian pisau dengan jarak seragam (jumlahnya 2 sampai 12) yang terpasang pada rotor horisontal (pisau berputar) yang bekerja melawan serangkaian pisau stasioner yang terpasang pada *casing mill*. Bagian bawah *mill* memiliki *screen* yang terpasang untuk mengontrol waktu tinggal partikel di dalam *mill head*. Proses *size reduction* melibatkan mekanisme *successive sheering* dari *feed material* dengan bantuan pisau tajam. *Rotary cutter mill* menghasilkan partikel kasar dari granulasi kering sebelum tablet.

Ukuran partikel ditentukan oleh ukuran rotor, jarak antara dua set pisau, dan *screen/sieve*. Meskipun *rotary cutter mill* mungkin berbeda satu sama lain dalam hal pisau yang dapat dipindah atau *fixed* dan dalam konfigurasi *classifier*, ada dua subkategori *rotary cutter mill* yang telah diidentifikasi yaitu *double runner disc mill* dan *single runner disc mill*.

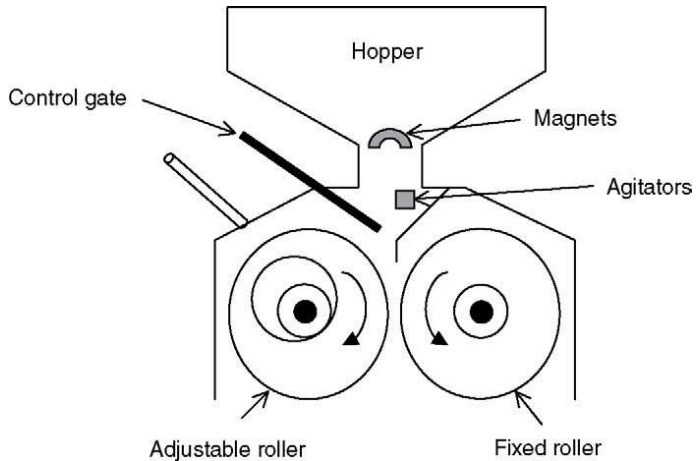


Gambar III.23 *Rotary Cutter Mill*

III.1.8.2 Roller Mill

Roller mill adalah suatu bentuk *compression mill* yang menggunakan roda berat tunggal, ganda, atau tiga silinder yang dipasang secara horizontal dan diputar pada sumbu panjangnya baik secara berpasangan atau dengan pelat datar, untuk menghancurkan atau menggiling berbagai material. Salah satu *roller* dijalankan oleh motor dan yang lain diputar oleh gesekan karena material yang ditarik melalui celah antara rol. *Roller mill* menggunakan proses tekanan (yang diterapkan oleh roda yang berputar) dan gesekan dalam penggilingan padatan dalam suspensi, pasta atau salep dan beberapa bahan padat. *Roller berputar* dengan kecepatan yang berbeda dan material dicukur saat melewati celah.

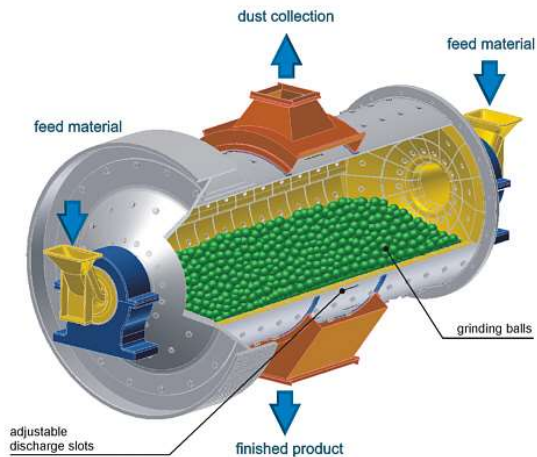
Untuk mendapatkan ukuran partikel yang diinginkan, maka celah antara *roll* dan perbedaan kecepatan antara *feed rate* dan *roll* harus dikontrol. Dua varian dari *roller mill* yaitu *multiple roller* dan *ribbeb roller*.



Gambar III.24 Roller Mill

III.1.8.3 Ball Mill

Ball mill adalah jenis penggiling yang digunakan untuk menggiling dan mencampur *bulk material* ke dalam ukuran nano menggunakan bola-bola yang berbeda ukuran. Prinsip kerjanya sederhana; dampak dan pengurangan ukuran terjadi ketika bola jatuh dari dekat bagian atas selubung silinder berlubang yang berputar. Ukuran struktur nano dapat bervariasi dengan memvariasikan jumlah dan ukuran bola, bahan yang digunakan untuk bola, bahan yang digunakan untuk permukaan silinder, kecepatan rotasi, dan pilihan bahan yang akan digiling. *Ball mill* biasanya digunakan untuk menghancurkan dan menggiling bahan menjadi bentuk yang sangat halus. *Ball mill* berisi cangkang silinder berlubang yang berputar pada sumbu. Silinder ini diisi dengan bola-bola yang terbuat dari *stainless steel* atau karet untuk bahan yang terkandung di dalamnya. *Ball mill* diklasifikasikan menjadi *attritor*, *horizontal*, *planetary*, *high energy*, atau *shaker*.



Gambar III.25 *Ball Mill*

III.1.9 Pencampuran Fluida

III.1.9.1 *Solid-Liquid Mixing*

III.1.9.1.1 *Mixing Tank*

Mixing tank adalah suatu alat yang berfungsi untuk mencampurkan beberapa komponen secara bersamaan sehingga menghasilkan suatu campuran yang seragam. *Mixing tank* memainkan peran yang sangat umum dalam produksi bahan. Sejumlah besar komponen dimasukkan ke dalam tangki ini untuk dicampur bersama menggunakan pencampuran halus. Prosedur ini menghasilkan barang-barang manufaktur. Namun, ada berbagai zat yang tidak dapat dicampur bersama karena berbagai reaksi kimia. Berbagai jenis *mixing tank* cocok untuk digunakan pada setiap kebutuhan pencampuran yang memungkinkan. Tangki-tangki ini melakukan proses pencampuran secara efektif dan nyaman.

III.1.9.2 *Gas-Liquid Mixing*

III.1.9.2.1 *Micro Bubble Generator*

Micro bubble generator adalah suatu alat yang berfungsi untuk menghasilkan gelembung udara di dalam air dengan diameter kurang dari 200 mikrometer. *Micro bubble* dapat dihasilkan dengan beberapa metode dengan karakteristik yang berbeda-beda. Metode tersebut antara lain dengan *electrolytic microbubble generator*, *porous plate (PP)*, *ventury tube type bubble generator*, dan *spherical body in a flowing water tube*.

Micro bubble sendiri adalah gelembung yang memiliki ukuran 50 mikrometer atau kurang dan memiliki beberapa karakteristik unik yang dihasilkan dari ukurannya yang halus. *Micro bubble* memiliki karakteristik area permukaan yang besar karena diameternya yang sangat kecil, *slow rising velocity* karena daya apung yang rendah, *self pressurized dissolution*, efisiensi perpindahan massa yang baik, dan laju *dissolution* yang tinggi.

Micro bubble generator terbagi menjadi beberapa tipe yaitu *venturi type*, *gas-water circulation type bubble generator*, dan *pressurized dissolutions type bubble generator*.

III.2 Seleksi Proses

Biogas yang dihasilkan oleh PT Enero diharapkan hanya terdiri atas biometana dengan pengotor yang seminimal mungkin. Berdasarkan komposisi biogas PT Enero pada Tabel I.2, dapat dilihat kadar pengotor biogas berupa H₂S dan CO₂ masih cukup besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pre-treatment terhadap biogas hasil produksi PT Enero untuk menghilangkan kadar H₂S sebelum dilakukan proses karbonasi mineral. H₂S disini bersifat korosif terhadap peralatan dan berbahaya untuk lingkungan dan kesehatan sehingga perlu segera dihilangkan dari proses.

III.2.1 Seleksi Proses Purifikasi Biogas

III.2.1.1 Seleksi Proses *Sweetening* H₂S

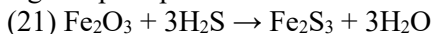
Seleksi proses untuk *gas sweetening* bergantung pada kondisi-kondisi umum antara lain:

- konsentrasi H₂S pada *sour gas* dan batas konsentrasi H₂S yang harus dipenuhi

- *flow rate* maksimum desain
- tekanan gas masuk
- metode pembuangan produk limbah yang dapat diterima

Dalam melakukan seleksi proses, maka proses yang dipilih harus hemat biaya dan memenuhi berbagai macam spesifikasi dan ketentuan. Di seluruh dunia, umumnya terdapat regulasi yang membatasi pembakaran H₂S ke udara bebas. Proses *sweetening* aliran gas yang mengandung konsentrasi H₂S yang sangat rendah dapat dilakukan dengan banyak cara, tergantung pada kondisi umumnya. Jika aliran *sour gas* mengandung lebih dari 70 hingga 100 lb H₂S/hari, pelarut kimia regeneratif biasanya dipilih untuk proses *sweetening* aliran *sour gas*. Untuk *sour gas* dengan kadar H₂S yang sangat rendah, bahan kimia *scavenger* biasanya digunakan.

Pada tugas pra-desain pabrik ini, proses *sweetening* biogas menggunakan metode adsorpsi menggunakan *laterite soil*. Metode ini dipilih karena hanya penghilangan H₂S saja yang dilakukan. Hal ini dikarenakan CO₂ yang terdapat dalam biogas akan dihilangkan di tahap berikutnya sekaligus untuk memproduksi PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*), oleh karena itu lebih baik apabila CO₂ tidak ikut terpisahkan pada proses *sweetening* gas. Selain itu, senyawa Besi Oksida Fe₂O₃ sebagai isian dari fixed bed cukup mudah diperoleh di Indonesia dengan harga yang murah. Salah satunya ialah melalui tanah laterit atau tanah merah. Tanah ini merupakan tanah yang telah kehilangan kesuburan dan unsur-unsur hara karena larut terbawa air hujan dengan intensitas yang tinggi. Tanah ini banyak tersedia di Indonesia dan mengandung Fe₂O₃ dalam jumlah yang cukup besar. Senyawa Fe₂O₃ yang terdapat dalam *soil laterite* akan berikatan dengan senyawa H₂S dalam biogas seperti pada reaksi berikut:



Oleh karena harga tanah yang murah dan kapasitasnya untuk mengadsorb H₂S cukup baik, maka proses regenerasi tanah laterit sebagai adsorben tidak perlu dilakukan. Hal ini memudahkan dan juga menurunkan biaya investasi kapital saat pendirian pabrik.

III.2.1.2 Seleksi Proses Absorpsi CO₂

Dalam melakukan seleksi proses absorpsi CO₂, diperlukan pendekatan inovatif untuk penyerapan CO₂ berbasis pelarut, dan ini harus layak secara ekonomi dengan dampak lingkungan minimum. Ini juga akan tergantung pada pemilihan absorbent yang tepat, proses pemisahan, intensitas kebutuhan energi, integrasi pemurnian biogas yang efektif, dan proses peningkatan untuk menghemat biaya.

Gas CO₂ dalam biogas perlu dihilangkan karena gas tersebut dapat mengganggu proses Pembakaran atau mengurangi nilai kalor pembakaran biogas. Pada tahap ini gas yang dihilangkan adalah CO₂ sebagai produk samping dari reaksi pembentukan biogas. CO₂ bersifat korosif terhadap logam dan dapat menyebabkan korosi sehingga perlu dihilangkan karena biogas akan digunakan sebagai bahan bakar gas engine. Ada beberapa metode pemurnian biogas (CO₂ removal), antara lain: absorpsi dengan Ca(OH)₂ (susu kapur), absorpsi dengan NaOH, dan absorpsi dengan zeolite. Pada pabrik ini, pemurnian biogas dilakukan dengan mereaksikan CO₂ dengan susu kapur sehingga menghasilkan produk berupa Precipitated Calcium Carbonate (PCC).

III.2.2 Seleksi Proses Pembentukan PCC

Dari tiga proses pembuatan PCC, perbandingan proses dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel III.5 Perbandingan Proses Pembuatan PCC

Pembanding	Proses Double Decomposition	Proses Lime Soda	Proses Karbonasi
Temperatur Reaksi	65°C	55°C	30-60°C

Tekanan Operasi	Atmosferik	Atmosferik atau bertekanan	Atmosferik atau 2-10 atm
Konversi	80%	<90%	95%
Profit Kasar	$2,94 \times 10^{-5}$ US\$	$1,675 \times 10^{-5}$ US\$	$5,326 \times 10^{-5}$ US\$
Bahan Baku	CaCl_2	Na_2CO_3	CaCO_3

Sehingga untuk pembuatan PCC proses yang dipilih adalah karbonasi.

Dibandingkan dengan dua proses lainnya, karbonasi memiliki beberapa kelebihan yaitu:

1. Bahan baku murah dan banyak terdapat di Indonesia.
2. Produk yang dihasilkan memiliki kemurnian tinggi.
3. Diantara ketiga proses, memiliki profit yang jauh lebih besar.

III.2.3 Seleksi Proses Pre-Treatment Limbah Industri Gas Asetilen

Senyawa CaO diperoleh dari limbah pabrik asetilen yang memiliki komposisi seperti pada Tabel III.6 dan berwujud padatan. Untuk mengekstraksi CaO dari limbah pabrik asetilen, metode yang digunakan untuk tugas pra-desain pabrik ini adalah *clarifier*. Metode ini merupakan metode pemisahan solid-solid berdasarkan *settling velocity* dari masing-masing komponen yang terdapat dalam campuran. Dapat dilihat bahwa masing-masing komponen dalam limbah pabrik asetilen memiliki *settling velocity* yang bervariasi yang dapat dilihat pada Tabel III.6.

Tabel III.6 Karakteristik Komponen Limbah Pabrik Asetilen

Komponen	Konsentrasi (%massa)	Settling velocity (m/s)	Ukuran Partikel	Kelarutan

Al_2O_3	0,61	0.000233944	0,3 – 12 μm	Tidak larut dalam air, <i>mineral acid</i> , dan alkali kuat
SiO_2	0,94	1.40733×10^{-7}	262 - 464 nm	Larut dalam laurtan alkali, kurang dapat larut
SO_3	0,3	4.63304×10^{-15}	0,04 – 0,1 nm	Larut dalam air, kelarutan dalam air 0,1 g/L pada 25 °C
CaO	95,37	0.010926665	0,1 - 2 mm	Larut dalam air dan gliserol, kelarutan dalam air 1,25 g/L pada 20 °C dan 1,2 g/L pada 25 °C
Fe_2O_3	0,48	7.98877×10^{-9}	2,1 - 58,5 nm	Sedikit larut dalam HCl, H_2SO_4 , HNO_2 dan tidak larut dalam air

Y_2O_3	0,25	1.02212×10^{-9}	18,44 – 21,67 nm	Larut dalam larutan asam encer, tidak larut dalam air
MoO_3	2,1	0.049681738	50 - 200 μm	Larut dalam alkali hidroksida dan potassium bitartrate, sedikit larut dalam air, kelarutan dalam air 1 g/L pada 20 °C

Metode *slurry slaker* ini digunakan karena komponen-komponen dalam limbah pabrik asetilen memiliki *settling velocity* yang bervariasi. Proses ini menggunakan clarifier untuk memisahkan CaO dari campuran zat pengotor. Setelah padatan limbah pabrik asetilen dicampurkan dengan air di *mixing tank*, *slurry* limbah pabrik asetilen dialirkan menuju *clarifier*. Dengan demikian, CaO dapat diperoleh dengan mengambil bottom product dari *clarifier*.

III.2.4 Seleksi Proses Separasi Solid-Liquid

III.2.4.1 Seleksi Proses Filtrasi

Pada seleksi proses filtrasi, terdapat beberapa metode seperti pada tabel Tabel III.7 berikut:

Tabel III.7 Perbandingan Jenis Filter

Jenis Separator	Liquid in Solid Product	Konsentrasi Padatan Feed	Ukuran Partikel	Biaya
-----------------	-------------------------	--------------------------	-----------------	-------

Disc Filter	Baik	Sedang	Halus	Sedang – Tinggi
Rotary Drum Filter	Baik	Tinggi – Sedang	Sedang	Sedang – Tinggi
Plate and Frame Filter Press	Baik	Rendah – Sedang	Halus	Sedang

Berdasarkan perbandingan diatas, jenis filter yang digunakan adalah Plate and Frame Filter Press, karena konsentrasi liquid pada produk rendah sehingga menghasilkan kualitas produk yang baik serta konsentrasi padatan sudah lebih tinggi dari sebelumnya. Selain itu, setelah keluar dari plate and frame filter press produk sudah berubah bentuk menjadi cake yang konsentrasi padatannya sangat tinggi sedangkan konsentrasinya sangat rendah. Namun, bukan berarti kandungan airnya sudah hilang semua maka perlu dilanjutkan ke proses drying untuk benar-benar menghilangkan kandungan airnya.

III.2.4.2 Seleksi Proses Sedimentasi

Pada seleksi proses sedimentasi, terdapat beberapa metode seperti pada tabel Tabel III.8. berikut:

Tabel III.8 Perbandingan Jenis Peralatan Sedimentasi

Jenis Separator	Liquid in Solid Product	Konsentrasi Padatan Feed	Ukuran Partikel	Biaya
Centrifugation Thickener	Sedang	Sedang – Tinggi	Sedang – Halus	Sedang – Tinggi

Gravity Thickener	Buruk	Sedang	Sedang	Sangat rendah – Sedang
-------------------	-------	--------	--------	------------------------------

Berdasarkan perbandingan diatas, jenis alat sedimentasi yang digunakan adalah Gravity Thickener untuk meningkatkan konsentrasi dari padatan (endapan CaCO_3) dan mengurangi konsentrasi liquid yang masih sangat tinggi dengan biaya yang sangat rendah. Slurry PCC yang keluar dari reaktor CSTR setelah masuk ke dalam *thickener* akan berubah bentuk menjadi *sludge* dengan konsentrasi padatan yang tinggi dan konsentrasi cairan yang lebih rendah.

III.2.5 Seleksi Proses Storage

III.2.5.1 Seleksi Proses Fluid Storage

Pada seleksi proses fluid storage, jenis storage yang digunakan untuk zat fluida adalah:

1. *LNG Storage Tank*, karena *LNG Storage Tank* difungsikan untuk menyimpan gas alam dalam fase cair, yang mana biometana yang sudah dipurifikasi akan disimpan sebagai Compressed Biomethane Gas (CBG) yang berwujud cair.
2. *Slurry Tank*, karena pada proses slaking CaO , larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang terbentuk di dalam mixing tank berwujud *slurry*.

III.2.5.1 Seleksi Proses Solid Storage

Pada seleksi proses solid storage, jenis storage yang digunakan untuk zat padat adalah:

1. *Silo*, karena memudahkan proses *unload* karena bahan mudah dikeluarkan melewati bagian dasar tower. Selain itu cocok untuk bahan solid dengan ukuran partikel yang kecil sehingga lebih mudah untuk dipindahkan.

III.2.6 Seleksi Proses Peralatan Transportasi

III.2.6.1 Seleksi Proses Peralatan Transportasi Solid

Pada seleksi proses peralatan transportasi solid, jenis peralatan yang digunakan adalah:

1. *Belt Conveyor* digunakan untuk memindahkan solid yang masih memiliki ukuran dan diameter partikel yang besar serta dalam volume yang banyak. Contohnya pada J-123 dimana fungsinya untuk memindahkan limbah pabrik asetilen solid dengan ukuran 1 mm.
2. *Screw Conveyor*, digunakan untuk memindahkan solid yang memiliki kandungan solid sehingga solid dapat menggumpal. Digunakan screw conveyor untuk sekaligus mengecilkan ukuran padatan yang menggumpal. Contohnya pada J-343 dimana berfungsi untuk memindahkan PCC dari storage ke rotary dryer.

III.2.6.2 Seleksi Proses Peralatan Transportasi Liquid

Pada seleksi proses peralatan transportasi liquid, jenis peralatan yang digunakan adalah:

1. *Centrifugal Pump*, karena pada transportasi liquid memiliki konsentrasi yang jauh lebih tinggi dari pada konsentrasi solidnya. Selain itu centrifugal pump membutuhkan biaya yang lebih murah dari pump yang lainnya sehingga lebih ekonomis dan lebih efektif secara proses.

III.2.6.3 Seleksi Proses Peralatan Transportasi Gas

Pada seleksi proses peralatan transportasi solid, jenis peralatan yang digunakan adalah:

1. *Dynamic Compressor*, karena banyak proses pada kompresor terjadi pada flow yang konstan dan senyawa bervariasi dan temperatur yang berubah-ubah sehingga lebih cocok digunakan dynamic compressor yang lebih peka terhadap lingkungan luar.

III.2.7 Seleksi Proses Drying

Perbandingan antara berbagai jenis *dryer* yang dapat diaplikasikan pada pengeringan PCC dapat dilihat pada **Tabel III.9**.

Tabel III.9 Perbandingan Jenis Dryer

Jenis Dryer	Kebutuhan Energi, 10 ⁹ MJ/y	Drying Efficiency, %	Fase	Ukuran Partikel	Moisture Content
<i>Rotary</i>	53	78-90	Solid	<i>Small</i>	<i>Moderate to high</i>
<i>Spray</i>	9.5	50	Liquid	-	-
<i>Fluidized Bed</i>	23	40-80	Solid	<i>Small</i>	<i>Moderate to high</i>

(Fellow, 1988)

Berdasarkan perbandingan pada **Tabel III.9**, jenis *dryer* yang digunakan adalah *rotary dryer*, hal itu dikarenakan beberapa hal berikut yaitu :

1. Efisiensi yang tinggi mencapai hingga 90%
2. *Outlet* yang keluar dari *plate and frame filter press* berupa *cake PCC* yang mempunyai *moisture content* 18-20% sehingga perlu dikurangi lagi dengan *dryer*. *Rotary dryer* dengan efisiensi *drying* yang tinggi mampu mengurangi *moisture content* dari *cake PCC* menjadi 0,2% yang sesuai dengan standar spesifikasi produk PCC.

III.2.8 Seleksi Proses Size Reduction

Perbandingan antara berbagai jenis peralatan *size reduction* berupa *mill* yang dapat diaplikasi pada pengecilan ukuran PCC dapat dilihat pada **Tabel III.10**.

Tabel III.10 Perbandingan Jenis *Mill*

Tipe	Kondisi Operasi	Kelebihan	Kekurangan

<i>Roller mill</i>	Dry Grinding	Ukuran 10 s/d 20 μm	
<i>Ball Mill</i>	Bisa <i>slurry</i> atau <i>dry feed</i> - <i>Dry and wet Grinding</i> -cocok untuk material yang lebih kasar	Lebih baik pada Wet Grinding bisa mendapatkan hasil yang lebih halus (bisa mendapatkan ukuran 2 μm)	Pada Dry Grinding ukuran dibatasi oleh ball coating sampai ke 15 μm

(Perry, 2008)

Bedasarkan perbandingan pada **Tabel III.10**, jenis *mill* yang digunakan adalah *ball mill*, hal itu dikarenakan beberapa hal berikut yaitu:

1. *Ball mill* mampu mengecilkan ukuran dari PCC hingga berukuran 2 mikrometer yang sesuai dengan standar spesifikasi produk dari PCC yang akan dijual. Sedangkan, jenis *mill* lain tidak bisa menghasilkan produk PCC yang lebih halus dibandingkan dengan *ball mill*.
2. Penggunaan *ball mill* dapat menghemat biaya dari operasi dan mempermudah instalasi dari peralatan karena desain *ball mill* yang mudah dan sederhana.
3. *Ball mill* dapat menerima *feed* yang berupa *slurry* dan *dry feed* sehingga mampu mengecilkan ukuran dari PCC dengan maksimal.

III.2.9 Seleksi Proses Pencampuran Fluida

III.2.9.1 Seleksi Proses Solid-Liquid Mixing

Pada seleksi proses solid-liquid mixing, jenis peralatan yang digunakan adalah:

1. Mixing Tank, karena mixing tank sangat umum digunakan sebagai tempat berlangsungnya pencampuran solid-liquid,

dan mixing tank juga dilengkapi pengaduk untuk membuat pencampuran lebih efektif dan homogen sehingga tidak terjadi pengendapan.

III.2.9.2 Seleksi Proses Gas-Liquid Mixing

Pada seleksi proses gas-liquid mixing, jenis peralatan yang digunakan adalah:

1. Micro Bubble Generator, karena dibutuhkan gelembung dengan ukuran mikro untuk masuk ke dalam CSTR sehingga luas area kontak gelembung dengan larutan dalam reaktor lebih besar. Pada micro bubble generator, gas terdispersi di dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam bentuk micro bubble.

III.3 Uraian Proses

III.3.1 Pre-Treatment Limbah Pabrik Asetilen

Limbah Pabrik Asetilen yang digunakan memiliki komposisi yaitu:

- $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0.6\%$
- $\text{SiO}_2 = 0.9\%$
- $\text{SO}_3 = 0.3\%$
- $\text{CaO} = 95.37\%$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.48\%$
- $\text{Y}_2\text{O}_3 = 0.25\%$
- $\text{MoO}_3 = 2.1\%$

Oleh karena itu, diperlukan pre-treatment untuk menghilangkan senyawa-senyawa yang tidak diinginkan sehingga limbah pabrik asetilen hanya mengandung senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ saja yang merupakan hasil reaksi senyawa CaO dengan H_2O menjadi $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

III.3.1.1 Tahapan *Slaking* dan Pelarutan Limbah Pabrik Asetilen

Tahap Proses *slaking* ini bertujuan untuk mengubah senyawa CaO menjadi senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ karena bereaksi dengan

air. Selain itu, pelarutan limbah asetilen dengan air ini dimaksud untuk mengubah fase limbah pabrik asetilen yang didapat menjadi slurry dari yang awalnya merupakan padatan. Limbah pabrik asetilen masuk ke mixer tank (M-120) melalui belt conveyor (J-121) sebanyak 90,446 kg/jam dilarutkan dengan air dengan laju 68032,79 kg/jam. Proses slaking ini terjadi pada suhu 28°C dengan tekanan 1 atm. Kemudian limbah pabrik asetilen yang awalnya masih berbentuk padatan setelah dilarutkan dengan air maka berubah fase menjadi slurry dengan perbandingan liquid terhadap solid-nya yaitu 1000:1,2. Setelah itu, slurry limbah pabrik asetilen dialirkan menuju clarifier (H-130).

III.3.1.2 Tahap Pre-Treatment Limbah Pabrik Asetilen

Slurry dari mixer tank (M-120) dialirkan menuju clarifier (H-130). Clarifier disini berfungsi sebagai tempat menghilangkan *impurities* yang ada di limbah pabrik asetilen dengan cara separasi berdasarkan *settling velocity* senyawa dalam limbah pabrik asetilen sehingga tersisa larutan Ca(OH)_2 dari keluaran clarifier. Karena Ca(OH)_2 bertindak sebagai larutan di dalam slurry limbah asetilen, sedangkan senyawa *impurities* yang lain bertindak sebagai suspensi, maka semua senyawa kecuali Ca(OH)_2 akan lebih dulu mengendap dan larutan Ca(OH)_2 keluar sebagai top product yang kemudian dialirkan menggunakan pompa (L-131) menuju *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) (R-210), yaitu tempat terjadinya proses purifikasi biogas dari CO_2 dengan larutan Ca(OH)_2 melalui proses absorpsi. Sebelum menuju reaktor, larutan Ca(OH)_2 akan dipanaskan menggunakan heater (E-132) karena kondisi optimum absorpsi CO_2 dengan larutan Ca(OH)_2 adalah 60°C.

Larutan Ca(OH)_2 dari vessel akan dibagi menjadi 2 aliran dimana aliran 1 akan dialirkan langsung menuju CSTR sedangkan aliran 2 akan dialirkan menuju micro bubble generator (X-211) dimana dibutuhkan untuk membentuk dispersi gas terhadap larutan Ca(OH)_2 sehingga menghasilkan gelembung berukuran mikro.

III.3.2 Pre-Treatment Biogas

Feed biogas yang digunakan berasal dari PT. Energi Agro Nusantara memiliki spesifikasi yaitu:

- Metana (CH_4) = 61%
- Karbon Dioksida (CO_2) = 38%
- Hidrogen Sulfida (H_2S) = 1%

Karena pada CSTR hanya dilakukan permurnian biogas dengan cara absorpsi CO_2 menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, maka dibutuhkan pre-treatment biogas untuk menghilangkan senyawa H_2S dari biogas sebelum masuk ke CSTR.

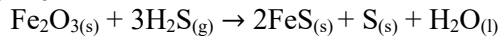
III.3.2.1 Adsorpsi H_2S menggunakan *Soil Laterite*

Biogas dari PT enero digunakan sebagai feed dengan komposisi CH_4 61%, CO_2 38% dan H_2S 1%. Biogas ini harus di *pre-treatment* terlebih dahulu untuk menghilangkan kandungan H_2S yang merupakan *impurity* dari biogas. H_2S bersifat korosif sehingga jika dibiarkan ikut dalam biogas, maka dapat menyebabkan alat-alat pada proses selanjutnya rusak akibat korosi selain itu, jika tetap dibiarkan ada dalam produk akhir, maka dapat menjadi racun dalam biogas.

Biogas akan dialirkan menuju *fixed bed column* (D-110) dimana akan terjadi proses adsorpsi dengan *soil laterite*. Sebelum menuju kolom, biogas tersebut harus melalui kompresor (G-111) untuk meningkatkan tekanan dari 1 bar menuju 3 bar. Karena kondisi optimum adsorpsi biogas pada kolom berada pada tekanan 3 bar dan temperature 45°C . Karena biogas dikompresikan, maka suhunya akan naik menjadi 137°C dari 28°C sehingga dibutuhkan cooler (E-112) agar suhunya turun menjadi 45°C .

Dalam kolom, terdapat soil laterite dimana merupakan tanah merah dengan kandungan Fe yang tinggi. Soil Laterite ini merupakan tanah yang tidak lagi subur sehingga tidak lagi bisa digunakan untuk tanaman. Soil Laterite berfungsi sebagai adsorben untuk mengikat H_2S dalam biogas. Kolom adsorpsi berjumlah 2 buah karena 1 kolom akan standby disaat terjadinya kejenuhan pada salah 1 kolom lainnya sehingga proses adsorpsi tetap

berlangsung *continuous*. Reaksi Soil Laterite dengan H₂S dalam biogas yang terjadi:



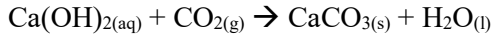
Pada reaksi yang terjadi, H₂S terikat dalam kolom sehingga overhead product yang keluar dari kolom merupakan biogas yang sudah tidak memiliki kandungan H₂S. Biogas ini lalu dialirkan menuju micro bubble generator (X-211) menggunakan kompresor (G-113) karena tekanan optimum absorpsi CO₂ dalam CSTR adalah 5 bar.

III.3.2.2 Pembentukan Micro Bubble

Micro bubble generator (X-211) berfungsi menghasilkan gelembung biogas berukuran mikro yang terdispersi dalam larutan Ca(OH)₂. Micro bubble generator ini dibutuhkan karena pada CSTR, diperlukan gelembung dengan ukuran yang lebih kecil untuk masuk ke dalam reaktor agar kontak gas dengan liquid berlangsung lebih optimal sehingga penyerapan CO₂ dalam reaktor dapat maksimal dan menghasilkan produk biogas yang lebih murni. Micro bubble ini kemudian akan masuk ke dalam reaktor melalui sparger untuk menyemprotkan gelembung ke dalam reaktor yang berisi larutan Ca(OH)₂.

III.3.3 Absorpsi CO₂ dengan Ca(OH)₂

Larutan Ca(OH)₂ dari *clarifier* (H-130) akan dibawa menuju CSTR (R-210) dimana akan terjadi proses purifikasi biogas dengan metode absorpsi gas CO₂ dengan larutan Ca(OH)₂. Lalu biogas yang telah di hilangkan kandungan H₂S nya dari *fixed bed column* (D-110) akan dialirkan menuju reaktor melalui *micro bubble generator* (X-211) dimana biogas terdispersi dalam larutan Ca(OH)₂ sehingga membentuk gelembung berukuran mikro. Gelembung masuk ke reaktor dengan menggunakan sparger dimana berfungsi untuk memperkecil ukuran gelembung dan juga memperluas kontak gelembung dengan larutan dalam reaktor. Suhu optimum CSTR dalam absorpsi CO₂ adalah 60°C dengan tekanan 5 bar. Reaksi yang terjadi adalah :



Reaksi ini bersifat eksotermis, sehingga untuk menjaga temperatur tetap 60°C, diperlukan jacket pada reaktor yang berfungsi untuk menjaga suhu agar tidak melebihi temperatur optimal 60°C. Waktu tinggal endapan yang terbentuk adalah 30 menit dan produk yang terbentuk dari reaktor ini adalah *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) CaCO₃ dan biogas yang kandungan CO₂-nya telah dihilangkan atau *biomethane*. PCC berbentuk slurry dengan kandungan air : solid nya adalah 471,5 : 1, sedangkan biomethane pada keluaran overhead product juga mengandung sedikit air.

Biomethane keluaran overhead product dari CSTR (R-210) akan mengalir ke *Knock Out Drum* (H-310) dimana kandungan air dari biomethane akan dihilangkan. CaCO₃ akan keluar dari reaktor menuju thickener (H-330) dimana endapan CaCO₃ akan diambil dan kandungan airnya dikurangi.

III.3.4 Pabrik Pembentukan Compressed Biomethane

Biogas yang dihasilkan akan disimpan dalam bentuk *Compressed Biomethane*. Oleh karena itu dibutuhkan beberapa tahapan untuk mengubah biomethane keluaran reaktor menjadi *Compressed Biomethane*.

III.3.4.1 Tahap Pengurangan Kandungan Air

Biomethane keluaran dari CSTR (R-210) masuk ke *knock out drum* (H-310) dimana berfungsi untuk mengurangi kandungan air dalam *biomethane* hasil absorpsi pada reaktor. Kandungan air pada *biomethane* keluaran reaktor adalah 3,2% dan diinginkan untuk dikurangi hingga 1,4%. *Knock out drum* (H-310) memisahkan air dengan cara adanya penurunan tekanan pada *Knock out drum* sehingga terjadi *flash* suhu jenuh air turun sehingga beberapa air dapat terkondensasi. Air yang terperangkap pada *separator* akan dialirkan melalui *bottom product* di *knock out drum* yang kemudian akan dialirkan menuju *Water Treatment*, sedangkan *biomethane* yang kandungan airnya sudah 1,4% akan dialirkan melalui *overhead product knock out drum* dimana akan

dikompresikan hingga tekanan 200 bar yang nantinya akan disimpan sebagai *compressed biomethane*.

III.3.4.2 Tahap Kompresi Biomethane

Biomethane hasil *overhead product* dari *knock out drum* (H-310) akan dikompresikan melalui *multi stage compressor package* dengan *intercooler* (G-321, E-322). Hal ini diperlukan karena *compressed biomethane* harus disimpan pada tekanan 200 bar. Pada rangkaian pertama, *biomethane* masuk ke *compressor* dan akan dinaikkan tekanannya dari 5 bar menjadi 200 bar. Karena saat di kompresikan, temperature dari *biomethane* naik menjadi 621°C maka harus dikurangi temperaturnya hingga 28 °C menggunakan *cooler*. Tekanan harus dinaikkan menjadi 200 bar, karena *compressed biomethane* memiliki spesifikasi tekanan minimal 200 bar. Lalu *biomethane* di alirkan menuju *compressed biomethane storage* (F-320) dimana akan dikemas menjadi tabung tabung *compressed biomethane* dan lalu akan dijual.

III.3.5 Pabrik Pembentukan PCC

Produk PCC yang dihasilkan harus berbentuk bubuk dengan ukuran partikel 2 µm sehingga dibutuhkan beberapa tahapan untuk memproses slurry CaCO₃ keluaran reaktor menjadi padatan PCC.

III.3.5.1 Tahap Thickening

Slurry CaCO₃ dari CSTR (R-210) akan mengalir menuju Thickener (H-330) dimana endapan yang terbentuk akan diambil dan air akan dialirkan ke *water treatment*. Pada Thickener (H-330) terjadi pemisahan antara padatan dan air yang terdapat pada slurry CaCO₃. Padatan akan terendapkan pada dasar *thickener* sedangkan air akan *overflow* pada permukaan *thickener*. Endapan ini merupakan CaCO₃ yang sudah dipisahkan airnya sehingga tidak lagi berbentuk slurry namun berbentuk sludge. Waktu tinggal padatan pada thickener adalah selama 90 menit sehingga perbandingan padatan dan air yang terbentuk adalah 9:11.

Padatan yang terbentuk akan masuk menuju PCC sludge storage vessel berpengaduk (F-332) dengan bantuan pompa (L-331). Pada PCC sludge storage akan disimpan terlebih dahulu dan terjadi pengadukan sebagai proses homogenasi sehingga mencegah terjadinya pengendapan solid dan sulit untuk dialirkan di pompa. Lalu dari storage vessel, PCC akan masuk ke plate and frame filter press dimana PCC Sludge akan dikurangi lagi kandungan airnya hingga 15% sehingga berbentuk cake.

III.3.5.2 Tahap Pembentukan Cake

Sludge PCC dari *PCC sludge storage vessel* (F-332) akan dialirkan menuju *plate and frame filter press* (H-340) dengan bantuan pompa (L-333). Pada *plate and frame filter press*, *sludge* akan diubah menjadi berbentuk *cake*, dimana kandungan air dalam *sludge* akan dikurangi hingga menjadi 15%. Dalam *plate and frame filter press*, *sludge* akan ditekan pada *plate and frame* sehingga air akan turun dari *filter press* dan akan dibawa menuju *water treatment*. *Cake* pada *plate* dalam *filter press* akan terbentuk dan dipindahkan menuju *PCC cake storage* (F-341) dengan bantuan *belt conveyor* (J-342). PCC yang sudah berbentuk *cake* dengan kandungan air 15% lalu akan disimpan pada *storage* untuk diproses pada alat selanjutnya.

III.3.5.3 Tahap Drying

PCC yang telah berbentuk *cake* pada *PCC cake storage* (F-341) akan dikeringkan pada *rotary dryer* (B-350). *PCC cake* akan dipindahkan menuju *rotary dryer* dengan menggunakan *PCC cake screw conveyor* (J-343) dimana *cake* akan dihancurkan sehingga menjadi bentuk yang lebih kecil sebelum masuk ke *rotary dryer*. Pada *rotary dryer*, PCC akan dikeringkan dengan menggunakan bantuan *dry air* yang sudah dipanaskan dengan heater (E-351). Pada *rotary dryer*, prosesnya berlangsung dengan *counter current* dimana *hot air* akan masuk dari ujung *rotary dryer* sedangkan PCC dari awal *rotary dryer*. Keluaran *rotary dryer* adalah PCC dengan kandungan air 0,5% dan sudah lebih berbentuk

bubuk. Udara yang dipakai untuk mengeringkan PCC keluar dari *rotary dryer* berupa *wet air*.

PCC keluaran *rotary dryer* (B-350) dengan kandungan air 0.5% akan dipindahkan dari *rotary dryer* menggunakan *screw conveyor* (J-352) dimana PCC akan dibuat menjadi bentuk yang lebih kecil untuk dilewati proses selanjutnya. *Wet air* keluaran *rotary dryer* akan dialirkan melewati *cyclone* (H-353) dimana beberapa komponen PCC yang terbawa pada udara akan diperangkap menggunakan *cyclone* dan akan diambil kembali menuju *screw conveyor* (J-352) sehingga tidak ada PCC yang ikut pada keluaran pembuangan *wet air*. PCC lalu akan dipindahkan menuju *Ball Mill* (C-360) dimana PCC keluaran *rotary dryer* (B-350) yang tergumpal, akan dilakukan *milling* sehingga bentuk PCC menjadi serbuk dan tidak lagi tergumpal.

III.3.5.3 Tahap *Size Reduction*

PCC dari *rotary dryer* (B-350) akan pindahkan menggunakan *screw conveyor* (J-351) menuju *ball mill* (C-360) dimana terjadi pengurangan ukuran. Hal ini dikarenakan PCC yang keluar dari *rotary dryer* memiliki kemungkinan untuk terbentuk aglomerasi dikarenakan terjadi kontak dengan udara luar sehingga PCC yang awalnya berbentuk bubuk keluar dari *rotary dryer*, bisa menggumpal. Meskipun ukuran partikel PCC yang keluar dari *rotary dryer* sudah sebesar 2 μm , namun karena terjadi penggumpalan maka harus dilakukan *milling* dengan menggunakan *ball mill* (C-360).

PCC yang sudah berbentuk serbuk keluaran dari *ball mill* (C-360) lalu akan dipindahkan menuju *PCC Storage* (F-361) dimana PCC akan dikemas untuk dijual. Produk PCC yang diinginkan adalah sebesar 2 μm dan berbentuk serbuk. Semakin bagus hasil PCC yang diproduksi, maka nilai jual dari PCC pun akan menjadi lebih mahal.

BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI

IV.1 Neraca Massa

Perhitungan neraca massa merupakan prinsip dasar dalam perancangan desain sebuah pabrik. Dari neraca massa dapat ditentukan kapasitas produksi, kebutuhan bahan baku menggunakan perhitungan manual dengan *Microsoft Excel*.

Perhitungan neraca massa menggunakan neraca massa komponen dan neraca massa *overall*. Dalam perhitungan ini berlaku teori hukum Kekekalan Massa dengan asumsi *aliran steady state*. Maka rumus yang digunakan:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Aliran massa} \\ \text{(masuk dalam sistem)} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Aliran massa} \\ \text{(keluar dalam sistem)} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Akumulasi massa} \\ \text{dalam sistem} \end{array} \right)$$

Neraca massa Pabrik Purifikasi Biogas dari limbah pabrik asetilen dihitung dengan data sebagai berikut:

Basis : 1 jam operasi
 Waktu Operasi : 330 Hari/tahun (1 hari = 24 jam)
 Jumlah Biogas : 849,3012 ton/tahun

Komposisi Biogas PT. Energi Agro Nusantara (Pilot Plant)

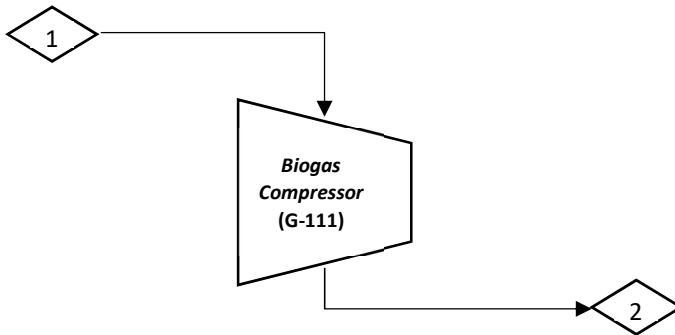
Data komposisi biogas disajikan dalam tabel IV.1 di bawah ini:

Tabel IV.1 Komposisi Biogas PT. Enero

Komp onen	BM (kg/kgmo l)	Fraksi Mol	Mol (kmol)	Massa (kg)	Fraksi Massa
CH ₄	16,04	0,61	2,436	39,079	0,364
CO ₂	44,01	0,38	1,518	66,795	0,623
H ₂ S	34,08	0,01	0,040	1,361	0,013
Total		1,00	3,994	107,23 5	1

(PT. Enero, 2019)

1. Biogas Compressor (G-111)

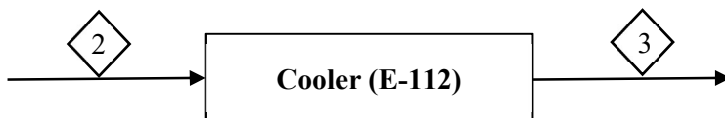


Tabel IV.2 Neraca Massa *Biogas Compressor*

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <1>		Aliran <2>	
		Fraksi Massa	Massa(kg)	Fraksi Massa	Massa(kg)
1	CH ₄	0,364	39,079	0,364	39,079
2	CO ₂	0,623	66,795	0,623	66,795
3	H ₂ S	0,013	1,361	0,013	1,361
Total		1	107,235	1	107,235

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <1>	107,235	Aliran <2>	107,235
Total	107,235	Total	107,235

2. Cooler (E-112)



Tabel IV.3 Neraca Massa Cooler

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <2>		Aliran <3>	
		Fraksi Massa	Massa(kg)	Fraksi Massa	Massa(kg)
1	CH ₄	0,364	39,079	0,364	39,079
2	CO ₂	0,623	66,795	0,623	66,795
3	H ₂ S	0,013	1,361	0,013	1,361
Total		1	107,235	1	107,235

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <2>	107,235	Aliran <3>	107,235
Total	107,235	Total	107,235

3. Laterite Soil Fixed Bed (D-110)

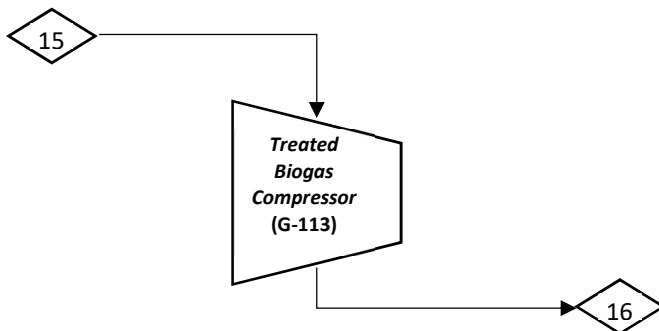


Tabel IV.4 Neraca Massa *Laterite Soil Fixed Bed*

No	Komponen	Masuk				Keluar			
		Aliran <3>		Tanah di Fixed Bed		Tanah di Fixed Bed		Aliran <15>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CH ₄	0,364	39,079	0	0	0	0	0,369	39,079
2	CO ₂	0,623	66,795	0	0	0	0	0,631	66,795
3	H ₂ S	0,013	1,361	0	0	0	0	0	0
4	Fe ₂ O ₃	0	0	1	90,743	0,9621	88,617	0	0
5	FeS	0	0	0	0	0,0254	2,341	0	0
6	H ₂ O	0	0	0	0	0,0078	0,720	0	0
7	S	0	0	0	0	0,0046	0,427	0	0
Total		1	107,235	1	90,743	0,9954	92,105	1	105,874

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <3>	107,235	Aliran <15>	105,874
Tanah di Fixed Bed	90,743	Tanah di Fixed Bed	92,105
Total	197,978	Total	197,982

4. Treated *Biogas Compressor* (G-113)

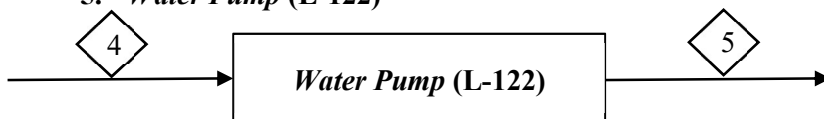


Tabel IV.5 Neraca Massa *Treated Biogas Compressor*

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <15>		Aliran <16>	
		Fraksi Massa	Massa(kg)	Fraksi Massa	Massa(kg)
1	CH ₄	0,369	39,079	0,369	39,079
2	CO ₂	0,631	66,795	0,631	66,795
Total		1	105,874	1	105,874

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <15>	105,874	Aliran <16>	105,874
Total	105,874	Total	105,874

5. Water Pump (L-122)



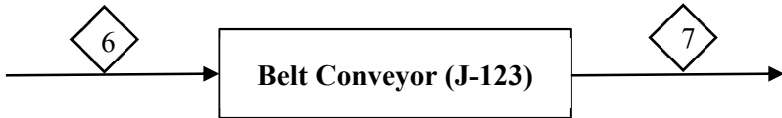
Tabel IV.6 Neraca Massa *Water Pump*

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <4>		Aliran <5>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	H ₂ O	1	68059,028	1	68059,028

Total	1	68059,028	1	68059,028
-------	---	-----------	---	-----------

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <4>	68059,028	Aliran <5>	68059,028
Total	68059,028	Total	68059,028

6. Belt Conveyor (J-123)



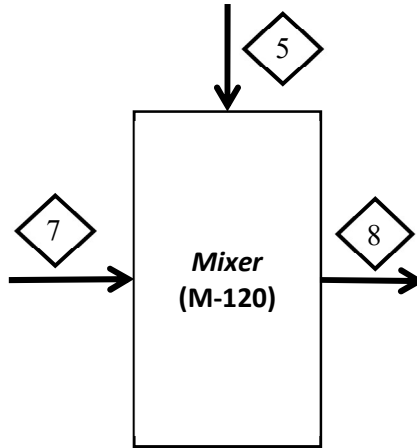
Tabel IV.7 Neraca Massa *Belt Conveyor*

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <6>		Aliran <7>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	Al ₂ O ₃	0,0103	0,9342	0,0103	0,9342
2	SiO ₂	0,0091	0,8257	0,0091	0,8257
3	SO ₃	0,0041	0,3668	0,0041	0,3668
4	CaO	0,9030	81,67083	0,9030	81,67083
5	Fe ₂ O ₃	0,0129	1,1705	0,0129	1,1705
6	Y ₂ O ₃	0,0095	0,8621	0,0095	0,8621
7	MoO ₃	0,0510	4,6160	0,0510	4,6160
Total		1	90,44624	1	90,44624

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <6>	90,44624	Aliran <7>	90,44624

Total	90,44624	Total	90,44624
--------------	----------	--------------	----------

7. *Mixer (M-120)*



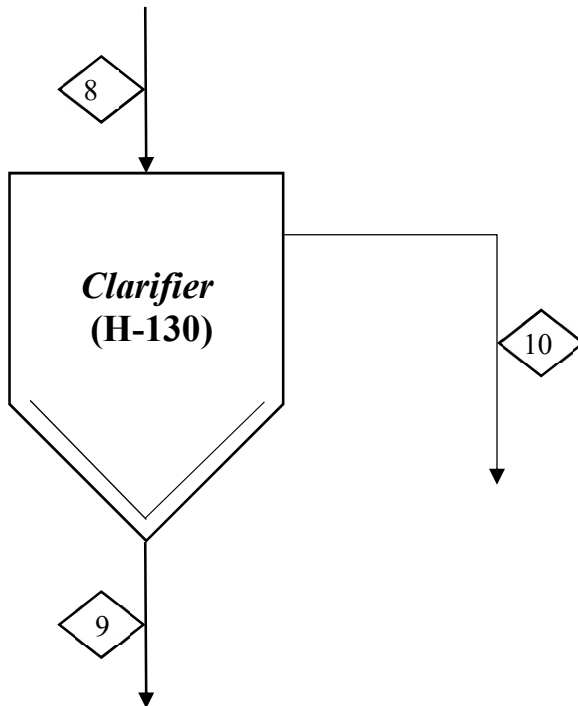
Tabel IV.8 Neraca Massa *Mixer*

No	Komponen	Masuk				Keluar	
		Aliran <7>		Aliran <5>		Aliran <8>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	Al ₂ O ₃	0,0103	0,9342	0	0	0,00001	0,9342
2	SiO ₂	0,0091	0,8257	0	0	0,00001	0,8257
3	SO ₃	0,0041	0,3668	0	0	0,00001	0,3668
4	CaO	0,9030	81,670 83	0	0	0	0
5	Fe ₂ O ₃	0,0129	1,1705	0	0	0,00002	1,1705
6	Y ₂ O ₃	0,0095	0,8621	0	0	0,00001	0,8621
7	MoO ₃	0,0510	4,6160	0	0	0,00007	4,6160
8	Ca(OH) ₂	0	0	0	0	0,00158	107,90 9

9	H ₂ O	0	0	1	68059,03	0,99829	68032,79
Total		1	90,44624	1	68059,03	1	68149,48

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <7>	90,44624	Aliran <8>	68149,48
Aliran <5>	68059,03		
Total	68149,48	Total	68149,48

8. Clarifier (H-130)

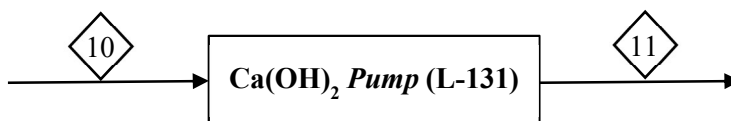


Tabel IV.9 Neraca Massa Clarifier

No	Komponen	Masuk		Keluar			
		Aliran <8>		Aliran <10>		Aliran <9>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	Al ₂ O ₃	0,00001	0,934	0	0	0,037	0,934
2	SiO ₂	0,00001	0,826	0	0	0,033	0,826
3	SO ₃	0,00001	0,367	0	0	0,015	0,367
4	CaO	0,00000	0	0	0	0	0
5	Fe ₂ O ₃	0,00002	1,171	0	0	0,047	1,171
6	Y ₂ O ₃	0,00001	0,862	0	0	0,034	0,862
7	MoO ₃	0,00007	4,616	0	0	0,184	4,616
8	Ca(OH) ₂	0,00158	107,909	0,002	107,9	0	0
9	H ₂ O	0,99829	68032,79	0,998	68016,49	0,650	16,29719
Total		1	68149,48	1	68124,4	1	25,0726

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <8>	68149,48	Aliran <10>	68124,4
		Aliran <9>	25,0726
Total	68149,48	Total	68149,48

9. Ca(OH)₂ Pump (L-131)

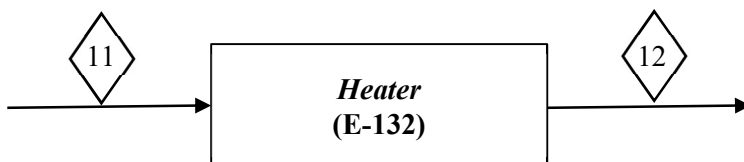


Tabel IV.10 Neraca Massa Ca(OH)_2 Pump

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <10>		Aliran <11>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	Ca(OH)_2	0,002	107,909	0,002	107,909
2	H_2O	0,998	68016,49	0,998	68016,49
Total		1	68124,4	1	68124,4

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <10>	68124,4	Aliran <11>	68124,4
Total	68124,4	Total	68124,4

10. Heater (E-132)

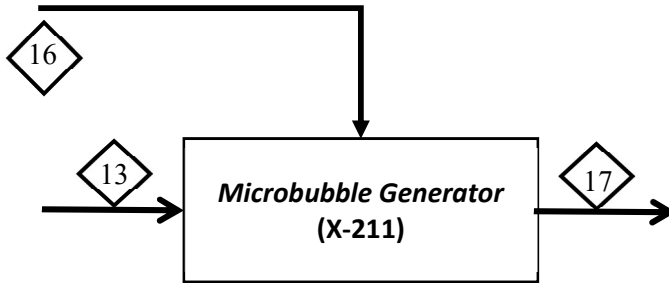


Tabel IV.11 Neraca Massa Heater

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <11>		Aliran <12>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	Ca(OH)_2	0,0016	107,909	0,0016	107,909
2	H_2O	0,9984	68016,49	0,9984	68016,49
Total		1	68124,4	1	68124,4

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <10>	68124,4	Aliran <11>	68124,4
Total	68124,4	Total	68124,4

11. Microbubble Generator (X-211)



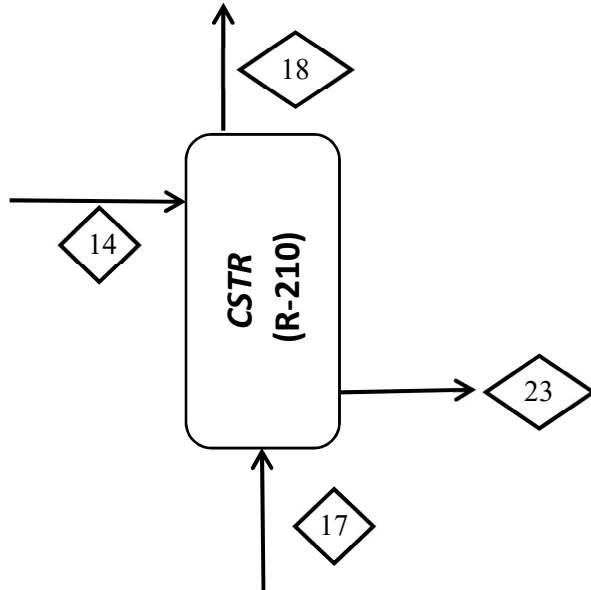
Tabel IV.12 Neraca Massa Microbubble Generator

No	Komponen	Masuk				Keluar	
		Aliran <13>		Aliran <16>		Aliran <17>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	Ca(OH) ₂	0,002	21,582	0,000	0,000	0,002	21,582
2	H ₂ O	0,998	13603,3	0,000	0,000	0,991	13603,3
3	CH ₄	0,000	0,000	0,369	39,079	0,003	39,079
4	CO ₂	0,000	0,000	0,631	66,795	0,005	66,79
Total		1	13624,88	1	105,87	1	13730,75

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <13>	13624,88	Aliran <17>	13730,75

Aliran <16>	105,87		
Total	13730,75	Total	13730,75

12. CSTR (R-210)



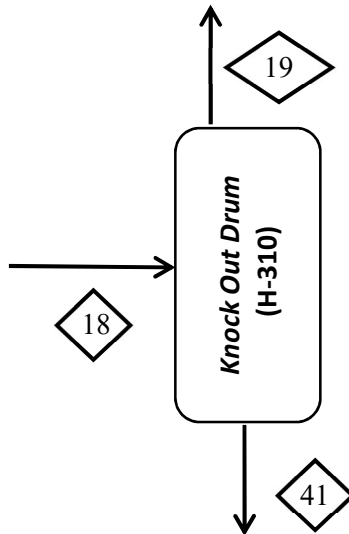
Tabel IV.13 Neraca Massa CSTR

No	Komponen	Masuk				Keluar			
		Aliran <17>		Aliran <14>		Aliran <18>		Aliran <23>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CH ₄	0,003	39,079	0	0	0,892	39,079	0	0
2	CO ₂	0,005	66,795	0	0	0,076	3,340	0	0
3	Ca(OH) ₂	0,002	22	0,002	86,327	0	0	2E-05	1,079

4	CaCO ₃	0	0	0	0	0	0	0,0021	144,308
5	H ₂ O	0,991	13603	0,998	54413,2	0,032	1,402	0,9979	68041,1
Total		1	13730,75	1	54499,5	1	43,821	1	68186,5

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <17>	13730,75	Aliran <18>	43,821
Aliran <14>	54499,5	Aliran <23>	68186,5
Total	68230,3	Total	68230,3

13. Knock Out Drum (H-310)



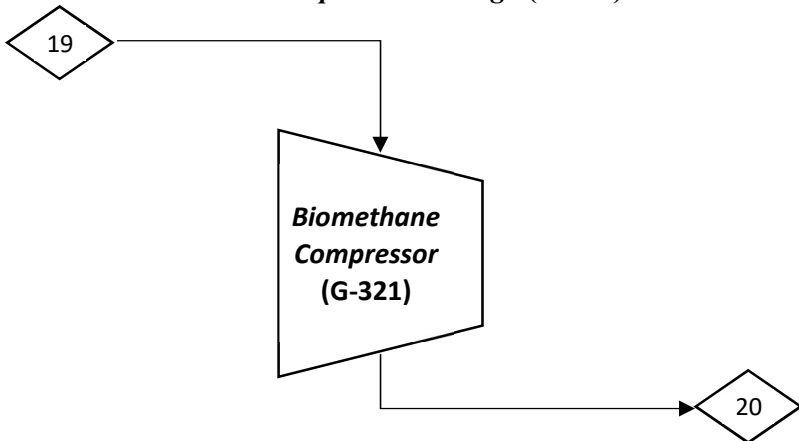
Tabel IV.14 Neraca Massa *Knock Out Drum*

No	Komponen	Masuk	Keluar	
		Aliran <18>	Aliran <19>	Aliran <41>

		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CH ₄	0,892	39,079	0,918	39,079	0	0,000
2	CO ₂	0,076	3,340	0,078	3,340	0	0,000
3	H ₂ O	0,032	1,402	0,003	0,140	1	1,261806
Total		1	43,821	1	42,559	1	1,261806

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <18>	43,821	Aliran <19>	42,559
		Aliran <41>	1,262
Total	43,821	Total	43,821

14. Biomethane Compressor Package (G-321)



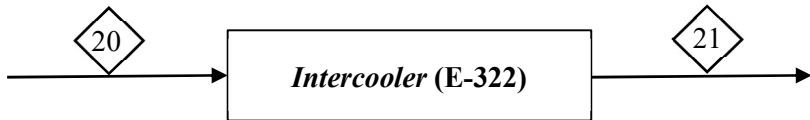
Tabel IV.15 Neraca Massa *Biomethane Compressor Package*

No	Komponen	Masuk	Keluar
		Aliran <19>	Aliran <20>

		Fraksi Massa	Massa(kg)	Fraksi Massa	Massa(kg)
1	CH ₄	0,918	39,079	0,918	39,079
2	CO ₂	0,078	3,340	0,078	3,340
3	H ₂ O	0,003	0,140	0,003	0,140
Total		1	42,559	1	42,559

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <19>	42,559	Aliran <20>	42,559
Total	42,559	Total	42,559

15. Intercooler (E-322)



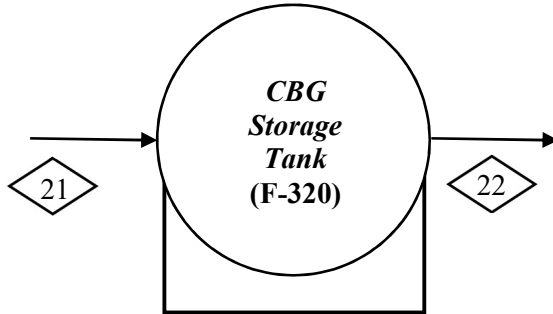
Tabel IV.16 Neraca Massa Cooler

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <20>		Aliran <21>	
		Fraksi Massa	Massa(kg)	Fraksi Massa	Massa(kg)
1	CH ₄	0,918	39,079	0,918	39,079
2	CO ₂	0,078	3,340	0,078	3,340
3	H ₂ O	0,003	0,140	0,003	0,140
Total		1	42,559	1	42,559

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <20>	42,559	Aliran <21>	42,559

Total	42,559	Total	42,559
--------------	--------	--------------	--------

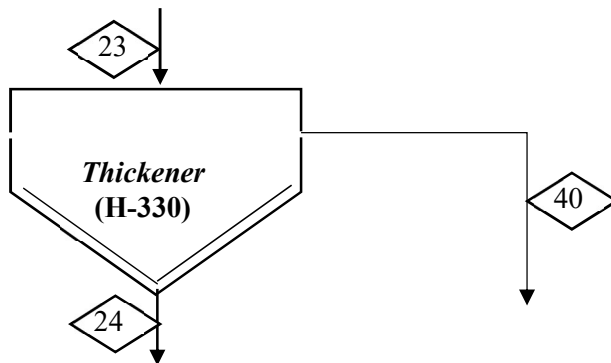
16. CBG Storage Tank (F-320)



Tabel IV.17 Neraca Massa CBG Storage Tank

Komponen	BM (kg/kgmol)	Fraksi Mol	Mol (kmol)	Massa (kg)	Fraksi Massa
CH ₄	16,04	0,967	2,436	39,079	0,918
CO ₂	44,01	0,030	0,076	3,340	0,078
H ₂ O	18	0,003	0,008	0,140	0,003
Total		1	2,520	42,559	1

17. Thickener (H-330)

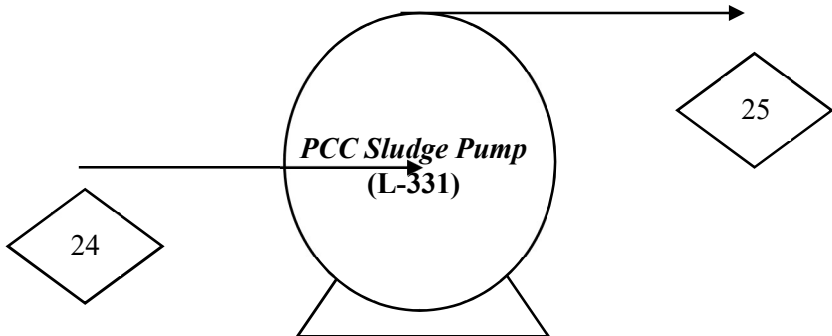


Tabel IV.18 Neraca Massa *Thickener*

No	Komponen	Masuk		Keluar			
		Aliran <23>		Aliran <24>		Aliran <40>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,002	144,308	0,450	144,308	0	0
2	Ca(OH) ₂	0,000	1,079	0	0	0,0000	1,079
3	H ₂ O	0,998	68041,1	0,550	176,38	1,0000	67864,69
Total		1	68186,45	1	320,6853	1	67865,77

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <23>	68186,45	Aliran <24>	320,6853
		Aliran <40>	67865,77
Total	68186,45	Total	68186,45

18. PCC Sludge Pump (L-331)



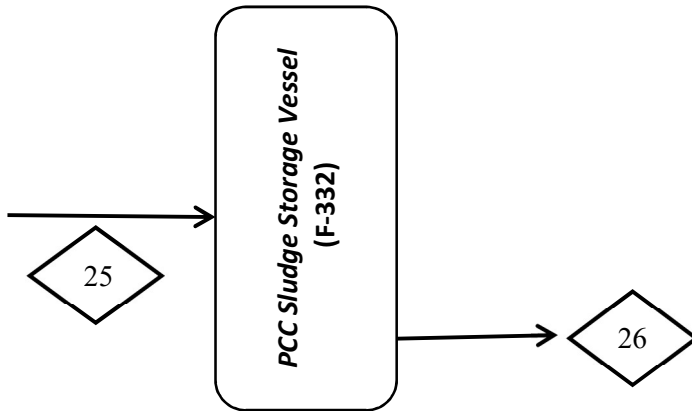
Tabel IV.19 Neraca Massa *PCC Sludge Pump*

No	Komponen	Masuk	Keluar
		Aliran <24>	Aliran <25>

		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,450	144,308	0,450	144,308
2	H ₂ O	0,550	176,3769	0,550	176,3769
Total		1,000	320,6853	1,000	320,6853

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <24>	320,6853	Aliran <25>	320,6853
Total	320,6853	Total	320,6853

19. PCC Sludge Storage Vessel (F-332)



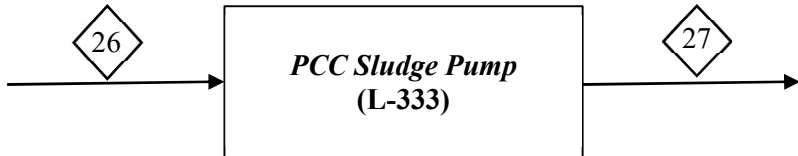
Tabel IV.20 Neraca Massa PCC Sludge Storage Vessel

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <25>		Aliran <26>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,450	144,308	0,450	144,308
2	H ₂ O	0,550	176,3769	0,550	176,3769

Total	1,000	320,6853	1,000	320,6853
--------------	-------	----------	-------	----------

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <25>	320,6853	Aliran <26>	320,6853
Total	320,6853	Total	320,6853

20. PCC Sludge Pump (L-333)

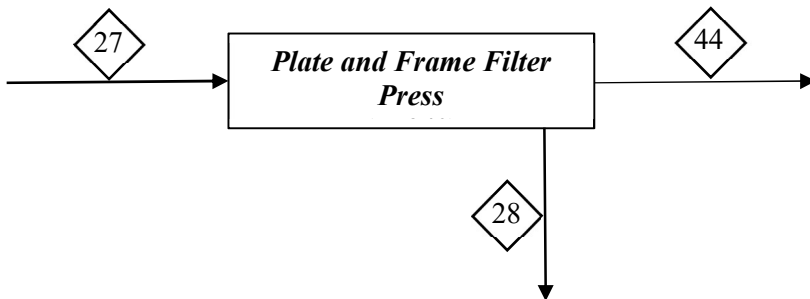


Tabel IV.21 Neraca Massa PCC Sludge Pump

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <26>		Aliran <27>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,450	144,308	0,450	144,308
2	H ₂ O	0,550	176,3769	0,550	176,3769
Total		1,000	320,6853	1,000	320,6853

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <25>	320,6853	Aliran <26>	320,6853
Total	320,6853	Total	320,6853

21. Plate and Frame Filter Press (H-340)

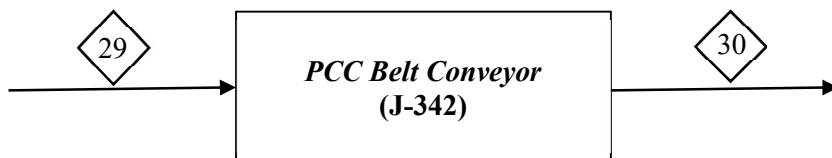


Tabel IV.22 Neraca Massa *Plate and Frame Filter Press*

No	Komponen	Masuk		Keluar			
		Aliran <27>		Aliran <28>		Aliran <44>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,450	144,308	0,845	144,308	0	0
2	H ₂ O	0,550	176,3769	0,155	26,45654	1	149,9204
Total		1	320,6853	1	170,7649	1	149,9204

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <27>	320,6853	Aliran <28>	170,7649
		Aliran <44>	149,9204
Total	320,6853	Total	320,6853

22. PCC Belt Conveyor (J-342)

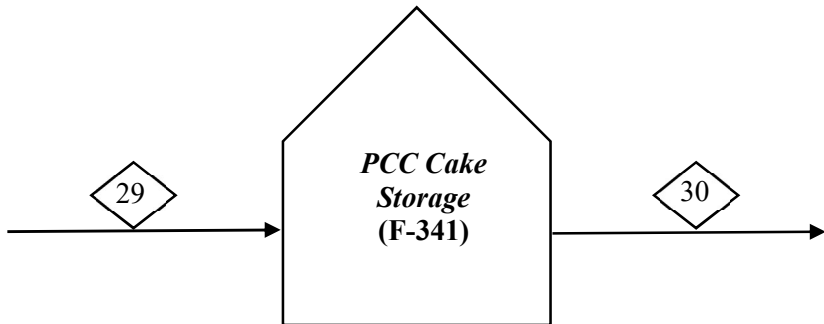


Tabel IV.23 Neraca Massa *PCC Belt Conveyor*

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <28>		Aliran <29>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,845	144,308	0,845	144,308
2	H ₂ O	0,155	26,45654	0,155	26,45654
Total		1,000	170,7649	1,000	170,7649

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <28>	170,7649	Aliran <29>	170,7649
Total	170,7649	Total	170,7649

23. PCC Cake Storage (F-341)



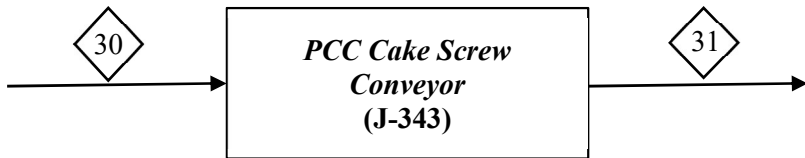
Tabel IV.24 Neraca Massa *PCC Cake Storage*

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <29>		Aliran <30>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,845	144,308	0,845	144,308

2	H ₂ O	0,155	26,4565 4	0,155	26,4565 4
Total		1,000	170,764 9	1,000	170,764 9

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <29>	170,7649	Aliran <30>	170,7649
Total	170,7649	Total	170,7649

24. PCC Cake Screw Conveyor (J-343)

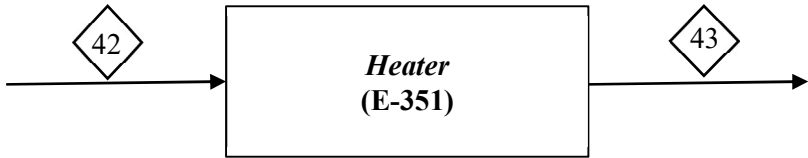


Tabel IV.25 Neraca Massa PCC Cake Screw Conveyor

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <30>		Aliran <31>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,845	144,308	0,845	144,308
2	H ₂ O	0,155	26,45654	0,155	26,45654
Total		1,000	170,7649	1,000	170,7649

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <30>	170,7649	Aliran <31>	170,7649
Total	170,7649	Total	170,7649

25. Heater (E-351)

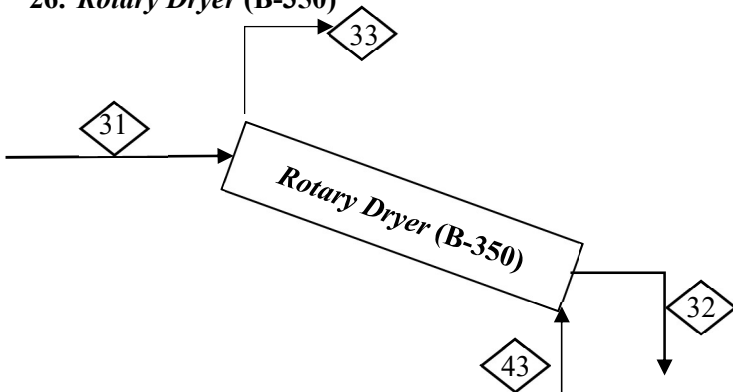


Tabel IV.26 Neraca Massa Heater

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <42>		Aliran <43>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	O ₂	0,21	166,11	0,21	166,11
2	N ₂	0,79	624,89	0,79	624,89
Total		1	791,0	1	791,0

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <42>	791,0	Aliran <43>	791,0
Total	791,0	Total	791,0

26. Rotary Dryer (B-350)

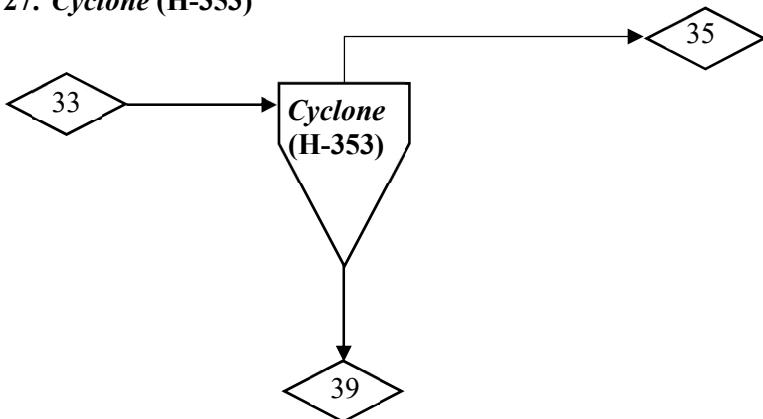


Tabel IV.27 Neraca Massa Rotary Dryer

No	Komponen	Masuk				Keluar			
		Aliran <31>		Aliran <43>		Aliran <32>		Aliran <33>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,845	144,31	0	0	0,9982	142,87	0,002	1,4431
2	H ₂ O	0,155	26,457	0	0	0,0018	0,265	0,032	26,192
3	O ₂	0	0,000	0,21	166,11	0	0	0,203	166,11
4	N ₂	0	0,000	0,79	624,89	0	0	0,763	624,89
Total		1	170,77	1	791,0	1	143,13	1	818,6

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <31>	320,6853	Aliran <32>	170,7649
Aliran <43>	320,6853	Aliran <33>	149,9204
Total	320,6853	Total	320,6853

27. Cyclone (H-353)

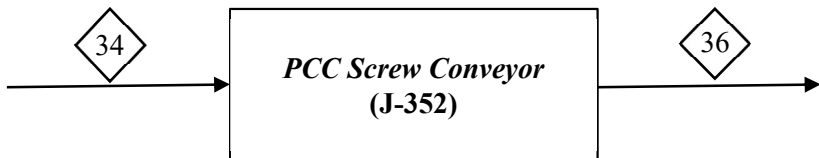


Tabel IV.28 Neraca Massa *Cyclone*

No	Komponen	Masuk		Keluar			
		Aliran <33>		Aliran <35>		Aliran <39>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,002	1,443	0,000	0,000	1,000	1,443
2	H ₂ O	0,032	26,192	0,032	26,192	0,000	0,000
3	O ₂	0,203	166,110	0,203	166,110	0,000	0,000
4	N ₂	0,763	624,890	0,765	624,890	0,000	0,000
Total		0	818,635	0	817,192	1	1,443

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <33>	818,635	Aliran <35>	817,192
		Aliran <39>	1,443
Total	818,635	Total	818,635

28. PCC Screw Conveyor (J-352)



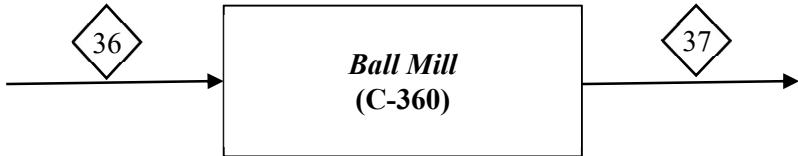
Tabel IV.29 Neraca Massa *PCC Screw Conveyor*

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <34>		Aliran <36>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)

1	CaCO ₃	0,998	144,308	0,998	144,308
2	H ₂ O	0,002	0,265	0,002	0,265
Total		1	144,573	1	144,573

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <34>	144,573	Aliran <36>	144,573
Total	144,573	Total	144,573

29. Ball Mill (C-360)

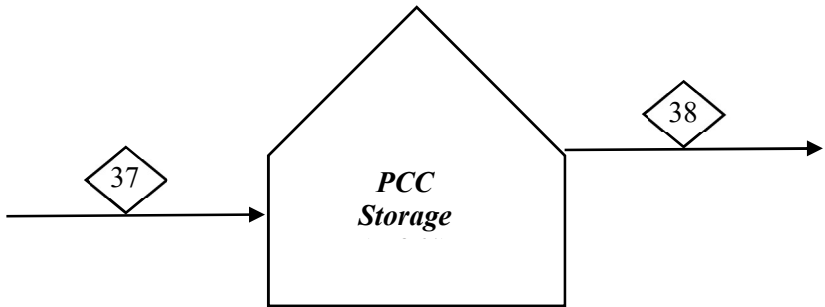


Tabel IV.30 Neraca Massa Ball Mill

No	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <36>		Aliran <37>	
		Fraksi Massa	Massa (kg)	Fraksi Massa	Massa (kg)
1	CaCO ₃	0,998	144,308	0,998	144,308
2	H ₂ O	0,002	0,265	0,002	0,265
Total		1	144,573	1	144,573

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <36>	144,573	Aliran <37>	144,573
Total	144,573	Total	144,573

30. PCC Storage (F-361)

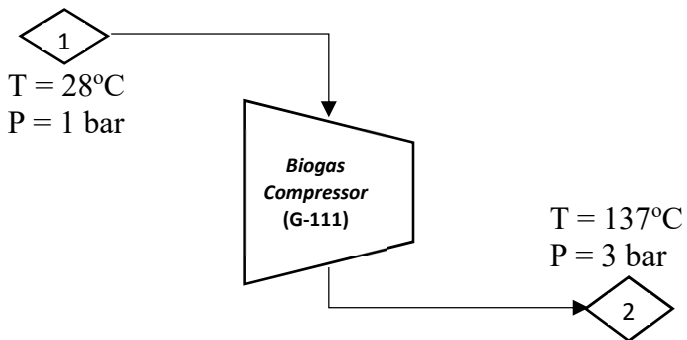


Tabel IV.31 Neraca Massa PCC Storage

Komponen	BM (kg/kgmol)	Fraksi Mol	Mol (kmol)	Massa (kg)	Fraksi Massa
CaCO ₃	100,087	0,990	1,442	144,308	0,998
H ₂ O	18,015	0,010	0,015	0,265	0,002
Total		1	1,457	144,573	1

IV.2 Neraca Energi

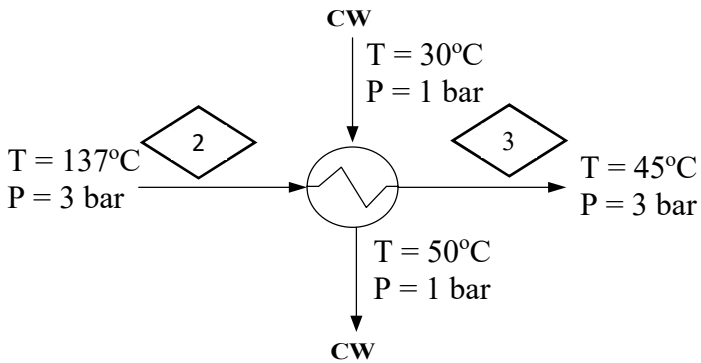
1. Biogas Compressor (G-111)



Tabel IV.32 Neraca Energi *Biogas Compressor*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	492	Entalpi Keluar
2	Ws	19.026		
TOTAL		19.518	TOTAL	19.518

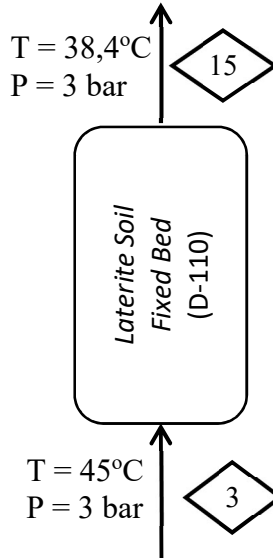
2. Cooler (E-122)



Tabel IV.33 Neraca Energi *Cooler*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	19.518	Entalpi Keluar
2	Q	-16.203		
TOTAL		3.316	TOTAL	3.316

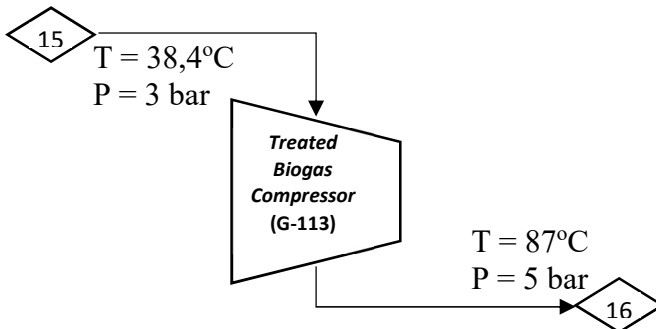
3. *Laterite Soil Fixed Bed (D-110)*



Tabel IV.34 Neraca Energi *Laterite Soil Fixed Bed*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	3316	Entalpi Keluar
2	Entalpi Reaksi	-962		
	TOTAL	2354	TOTAL	2354

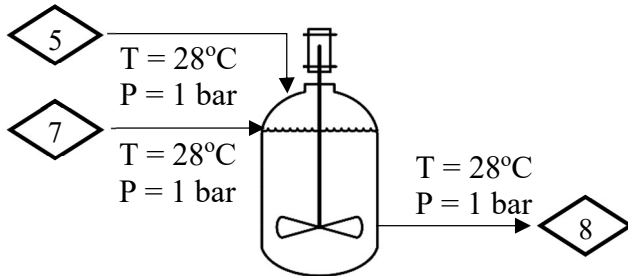
4. *Treated Biogas Compressor (G-113)*



Tabel IV.35 Neraca Energi *Treated Biogas Compressor*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	2.200	Entalpi Keluar
2	Ws	8.275		
TOTAL		10.475	TOTAL	10.475

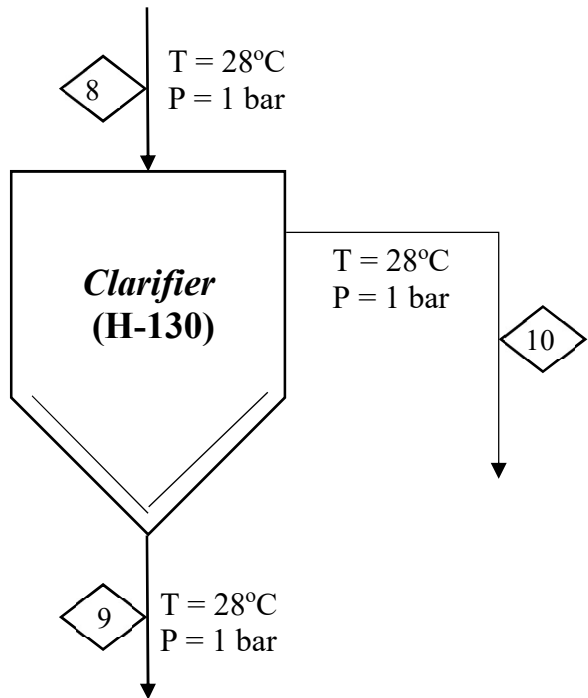
5. *Mixer (M-120)*



Tabel IV.36 Neraca Energi *Mixer*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	851083	Entalpi Keluar
2	Entalpi Reaksi	321		
TOTAL		851404	TOTAL	851074

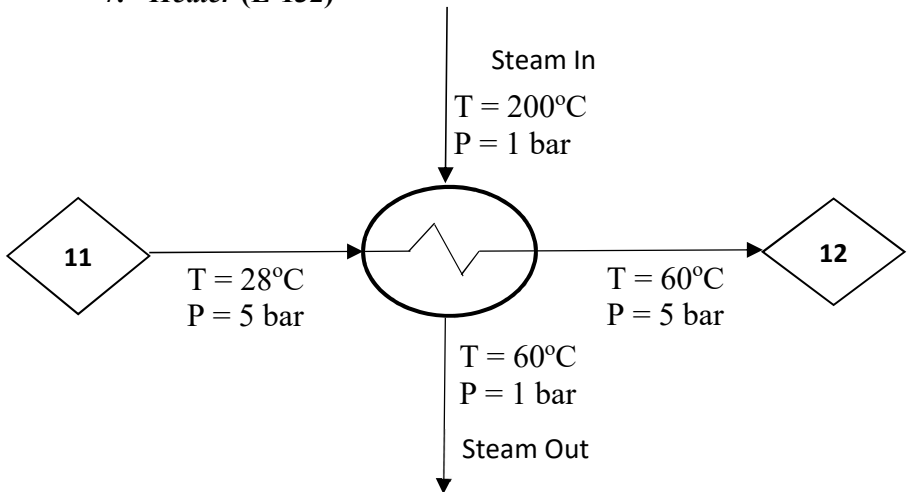
6. *Clarifier* (H-130)



Tabel IV.37 Neraca Energi *Clarifier*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	850595	Entalpi Keluar
	TOTAL	850595	TOTAL	850595

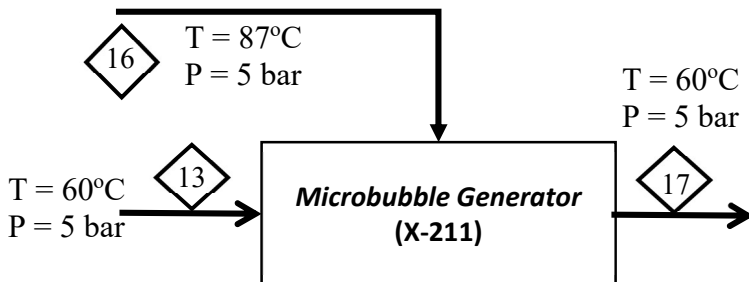
7. *Heater (E-132)*



Tabel IV.38 Neraca Energi *Heater*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	856191,04	Entalpi Keluar
2	Q	9,15E+06		
	TOTAL	10009688,7	TOTAL	10009688,7

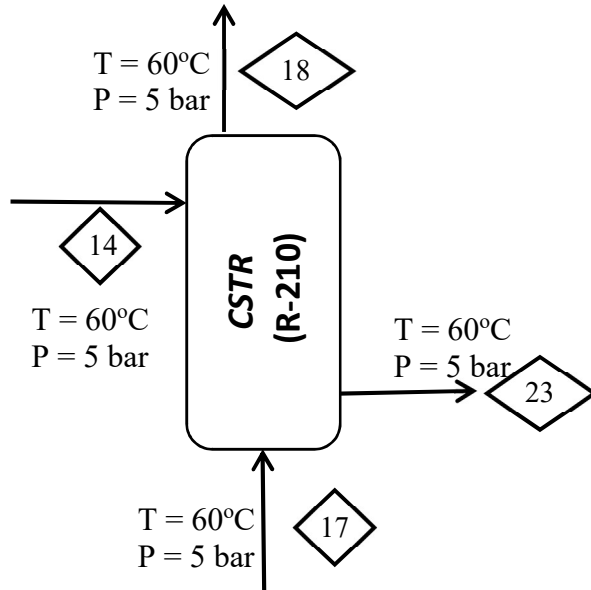
8. *Microbubble Generator (X-211)*



Tabel IV.39 Neraca Energi *Microbubble Generator*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	2012413,20	Entalpi Keluar
	TOTAL	2012413,20	TOTAL	2012413,20

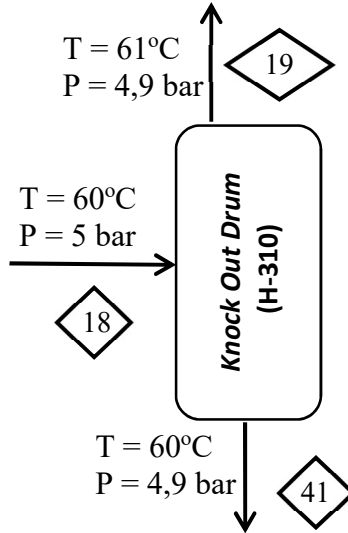
9. CSTR (R-210)



Tabel IV.40 Neraca Energi *CSTR*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	10015492	Entalpi Keluar
2	Entalpi Reaksi	-163	Q	-2316
	TOTAL	10015328	TOTAL	10015328

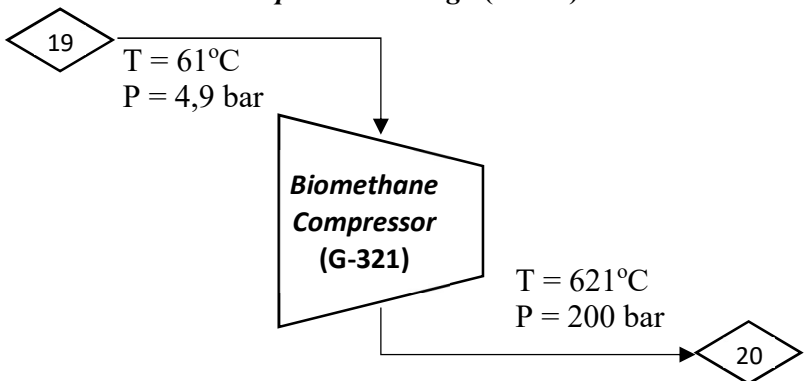
10. Knock Out Drum (H-310)



Tabel IV.41 Neraca Energi *Knock Out Drum*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	3464	Entalpi Keluar
	TOTAL	3464	TOTAL	3464

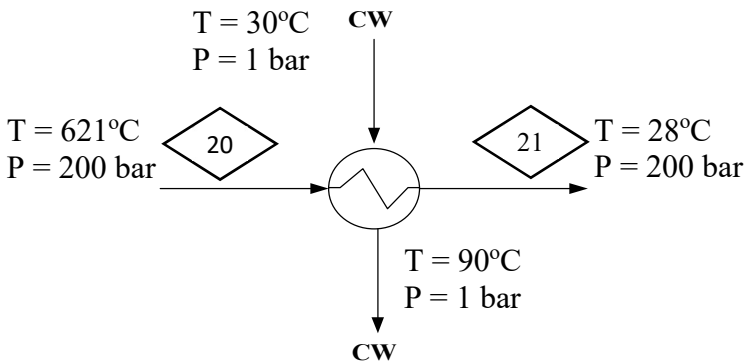
11. Biomethane Compressor Package (G-321)



Tabel IV.42 Neraca Energi *Biomethane Compressor Package*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	3.464	Entalpi Keluar
2	Ws	85.163		
TOTAL		88.626	TOTAL	88.626

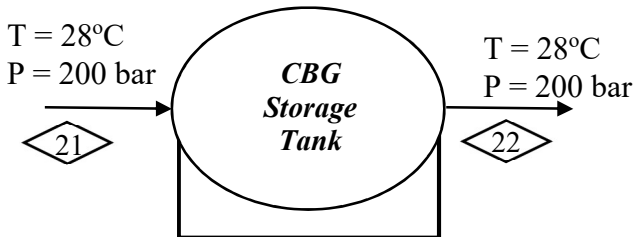
12. Intercooler (E-322)



Tabel IV.43 Neraca Energi *Intercooler*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	10.660	Entalpi Keluar
2	Q	-10.626		
TOTAL		34	TOTAL	34

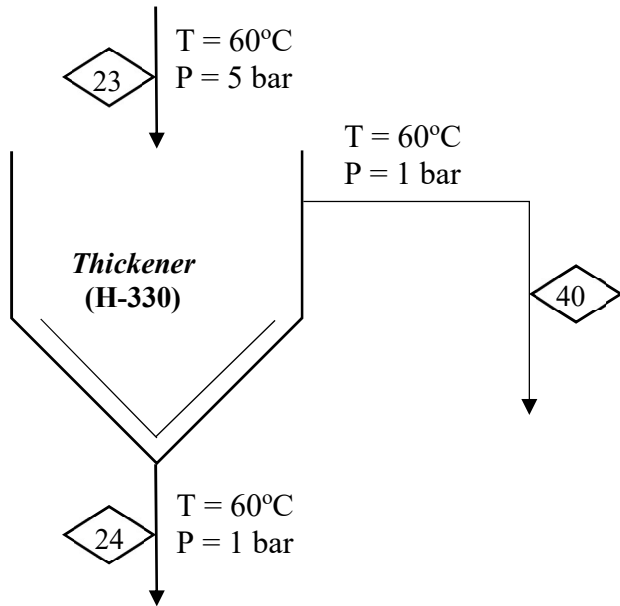
13. CBG Storage Tank (F-320)



Tabel IV.44 Neraca Energi *CBG Storage Tank*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	281	Entalpi Keluar
TOTAL		281	TOTAL	281

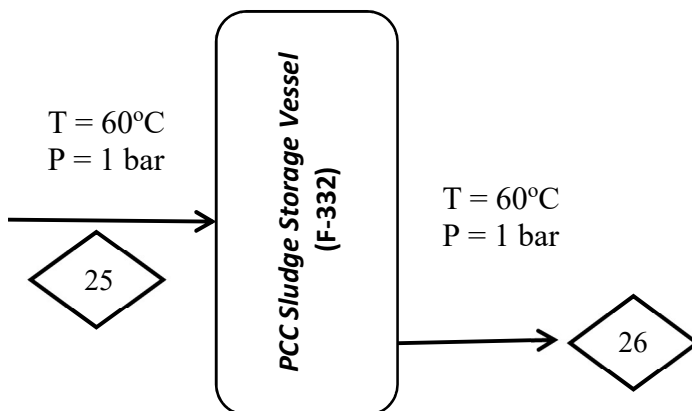
14. Thickener (H-330)



Tabel IV.45 Neraca Energi *Thickener*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	10014180,84	Entalpi Keluar
TOTAL		10014180,84	TOTAL	10014180,84

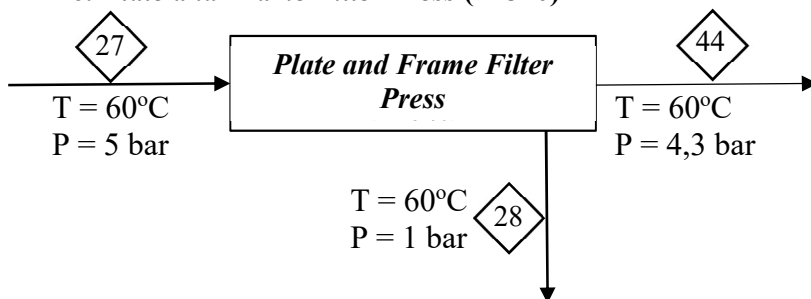
15. *PCC Sludge Storage Vessel (F-332)*



Tabel IV.46 Neraca Energi *PCC Sludge Storage Vessel*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	31553,50	Entalpi Keluar
	TOTAL	31553,50	TOTAL	31553,50

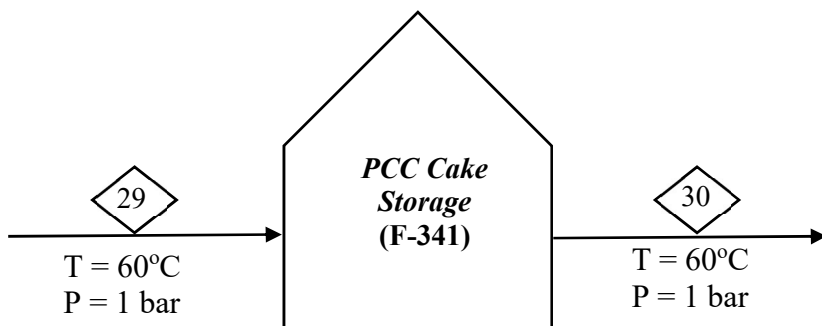
16. *Plate and Frame Filter Press (H-340)*



Tabel IV.47 Neraca Energi *Plate and Frame Filter Press*

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	31.568	Entalpi Keluar
	TOTAL	31.568	TOTAL	31.568

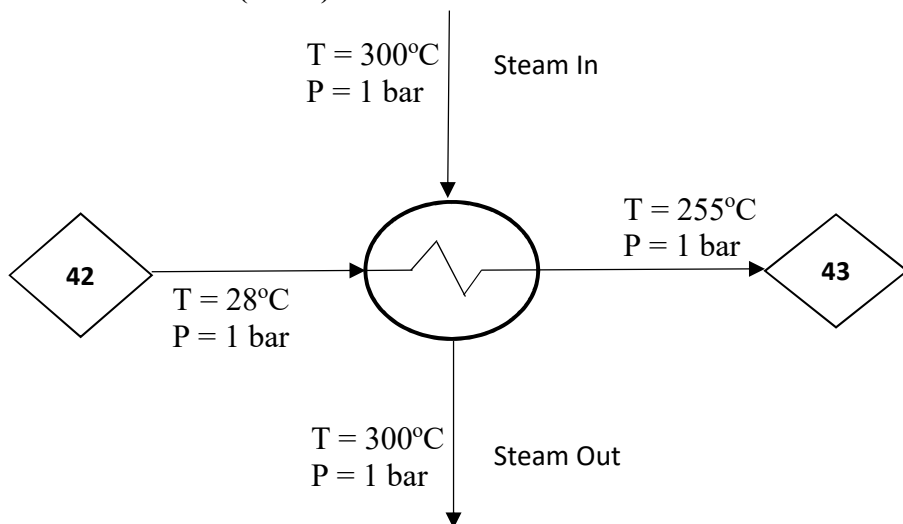
17. PCC Cake Storage (F-341)



Tabel IV.48 Neraca Energi PCC Cake Storage

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	9.516	Entalpi Keluar
TOTAL		9.516	TOTAL	9.516

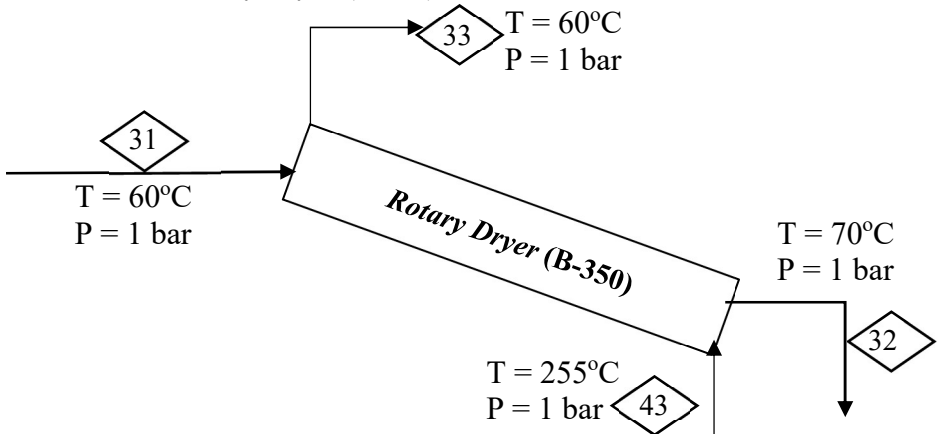
18. Heater (E-351)



Tabel IV.49 Neraca Energi Heater

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ)	
	1	Entalpi Masuk	2407,5467	Entalpi Keluar
2	Q	182171,0321		
TOTAL		184578,5788	TOTAL	184578,5788

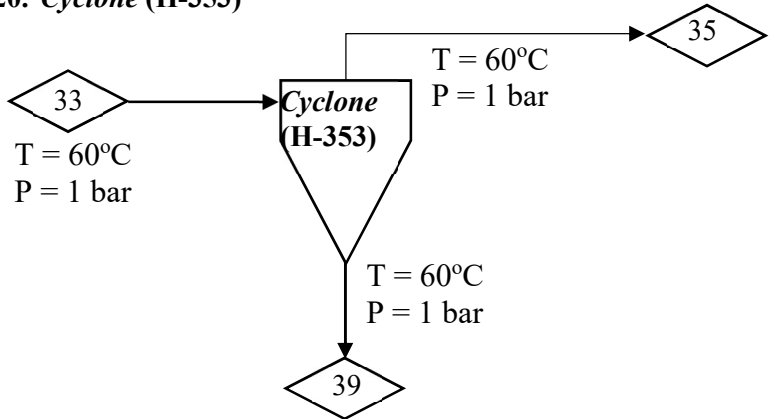
19. Rotary Dryer (B-350)



Tabel IV.50 Neraca Energi Rotary Dryer

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ)	
	1	Entalpi Masuk	213569,19	Entalpi Keluar
TOTAL		213569,19	TOTAL	213569,19

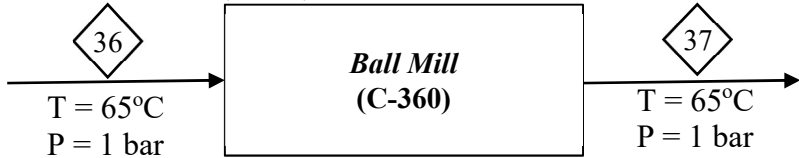
20. Cyclone (H-353)



Tabel IV.51 Neraca Energi Cyclone

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	41.260	Entalpi Keluar
	TOTAL	41.260	TOTAL	41.260

21. Ball Mill (C-360)



Tabel IV.52 Neraca Energi Ball Mill

No	Energi Aliran Masuk Energi (kJ/jam)		Energi Aliran Keluar Energi (kJ/jam)	
	1	Entalpi Masuk	7.277	Entalpi Keluar
	TOTAL	7.277	TOTAL	7.277

BAB V SPESIFIKASI ALAT

V.1 Daftar dan Harga Peralatan

1. *Biogas Compressor (G-111)*

Tabel V.1 Spesifikasi *Biogas Compressor*

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Nama Alat	: <i>Biogas Compressor</i>
Kode Alat	: G-111
Type	: <i>Centrifugal compressor</i>
Fungsi	: Menaikkan tekanan biogas menuju fixed bed
Jumlah compressor	: 1 buah Compressor
Kondisi operasi	: $P_{suction} = 0,99 \text{ atm}$
	: $P_{discharge} = 2,96 \text{ atm}$
Jumlah stage	: 1 Stage
Bahan	: <i>Cast Iron</i>
Kapasitas	: 107,2 kg/jam
mechanical Efisiensi	: 80,00%
Power	: 5,0 kW kW

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$10.497

2. *Cooler (E-112)*

Tabel V.2 Spesifikasi *Cooler*

Spesifikasi	Keterangan			
Fungsi	Menurunkan suhu udara biogas setelah dari compressor			
Type	1-2 Shell and Tube Heat Exchanger			
Bahan	Carbon Steel SA-129 A			
Suhu	Cooling Water	=	30	°C
Masuk	Biogas	=	137,0	°C
Suhu	Cooling Water	=	50	°C
Keluar	Biogas	=	45	°C
Shell Side (Cooling Water)	Diameter Dalam	=	8	in
	Baffle Space	=	4	in
	Passes	=	1	
	ΔP	=	0,0020	psi
Tube Side (Biogas)	Diameter Luar	=	1	in
	Jumlah Tube	=	21	
	BWG	=	13	
	Pitch	=	1,25	in
	a"	=	0,2618	ft ² /ft

	a'	=	0,515	in ²
	Passes	=	2	
	ΔP	=	3,5443	psi
Rd	0,0882341		hr.ft ² .°F/Btu	
Luas Area	65,9736		ft ²	
Jumlah Alat	1		Unit	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$2.653

3. *Soil Laterite Fixed Bed (D-110)*

Tabel V.3 Spesifikasi *Soil Laterite Fixed Bed*

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Spesifikasi	: Soil Laterite Fixed Bed (D-110)
Material	: SA 167 type 304 grade 3
Jumlah	: 2 unit
Fungsi	: Menghilangkan kandungan H ₂ S yang terkandung pada aliran biogas dengan menggunakan laterite soil.
Tipe	: Silinder packing dengan tutup atas dan bawah berbentuk dish head.
Jenis Sambungan	: Double welded butt
OD	: 12,0000 in = 0,3048 m
ID	: 11,4493 in = 0,2908 m
H bed	: 36,6375 in = 0,9306 m
Tinggi shell	: 45,7970 in = 1,1632 m
Tebal Shell	: 0,188 in = 0,0048 m
Tebal tutup atas	: 0,188 in = 0,0048 m
Straight flange (sf)	: 0,5 in = 0,0127 m
Tinggi tutup atas	: 2,6108 in = 0,0663 m
Tebal tutup bawah	: 0,19 in = 0,0048 m
Tinggi tutup bawah	: 2,6108 in = 0,0663 m
Tinggi tangki total	: 51,0186 in = 1,2959 m

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$91.012

4. *Treated Biogas Compressor (G-113)*

Tabel V.4 Spesifikasi *Treated Biogas Compressor*

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Nama Alat	: <i>Treated Biogas Compressor</i>
Kode Alat	: G-113
Type	: <i>Centrifugal compressor</i>
Fungsi	: Menaikkan tekanan biogas menuju Micro Bubble Generator
Jumlah compressor	: 1 buah Compressor
Kondisi operasi	: $P_{suction} = 2,9$ at
	: 6 m
	: $P_{discharge} = 4,9$ at
	: 3 m
Jumlah stage	: 1 Stage
Bahan	: <i>Cast Iron</i>
Kapasitas	: 105,9 kg/jam
Mechanical	: 80,00
Efisiensi	: %
Power	: 14,7 kW

5. *Limbah Acetylene Storage (F-121)*

Tabel V.5 Spesifikasi *Limbah Acetylene Storage*

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Tipe	= Bangunan balok
Jumlah Gudang	= 1 buah
Kapasitas	= 1695,972916 ft ³
Ukuran	= Panjang = 8,269 ft = 2,52027 m
	= Lebar = 4,134 ft = 1,26014 m
	= Tinggi = 6,201 ft = 1,8902 m
Bahan konstruksi	= Batu bata dan semen

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$140.036

6. *Belt Conveyor (J-342)*

Tabel V.6 Spesifikasi *Belt Conveyor*

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	<i>Belt Conveyor</i>	
Kode Alat	:	J-342	
Fungsi Alat	:	Memindahkan Limbah Acetylene ke Mixer	
Tipe	=	Throughed belt on continuous plate	
Lebar belt	=	14 in	= 36 cm
Tinggi skrit plate	=	7 in	= 18 cm
Kecepatan conveying (u)	=	200 ft/menit	= 3,33 ft/s
Kemiringan	=	15 °	
Kapasitas Maksimum	=	32 ton/jam	
Best plies minimum	=	3 buah	
Power	=	0,22 Hp	= 0,16 kWh
Ukuran lump maksimum	=	3 in	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$12.112

7. *Water Pump (L-122)*

Tabel V.7 Spesifikasi *Water Pump*

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	Water Pump	
Kode Alat	:	L-122	
Fungsi Alat	:	Memompa air menuju tangki mixer untuk proses pelarutan	
Tipe	:	<i>Centrifugal pump</i>	
Bahan	:	<i>Cast iron</i>	
Kapasitas	:	68059,0 kg/jam	
Pipa	:	Pipa 6 in sch 40	
Power	:	14,61 hp	= 10,894 kWh
Head	:	7,23 m	
Jumlah	:	1 unit	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$11.189

8. Mixer (M-120)

Tabel V.8 Spesifikasi Mixer

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama alat	:	<i>Mixer</i>	
Kode Alat	:	M-120	
Fungsi Alat	:	Melarutkan limbah acetylene	
Tipe	:	Silinder tegak dengan tutup atas dished head & tutup bawah conical	
Kapasitas	:	1507,87 ft ³	= 43 m ³
Bahan Konstruksi	:	<i>Carbon steel SA-283 grade C</i>	
Jumlah tangki	:	1 unit	
Spek. Tangki	:	- Diameter (OD)	= 9,00 ft = 2,74 m
		- Diameter (ID)	= 8,96 ft = 2,73 m
		- Tinggi : Shell	= 13,4 ft = 4,10 m
		tutup atas	= 2,6 ft = 0,79 m
		tutup bawah	= 2,6 ft = 0,79 m
		- Tebal : Shell	= 1/4 in
		tutup atas	= 1/2 in
	tutup bawah	= 3/8 in	
Spek. Nozzle Aliran Utama	:	- Diameter (OD)	= 6,6 in
		- Jenis pipa	= Pipa 6 in sch 40
Spek. Nozzle Aliran Keluar	:	- Diameter (OD)	= 6,6 in
		- Jenis pipa	= Pipa 6 in Sch 40
Spek. Pengaduk	:	- Jenis	= <i>Three blade propeller</i>
		- Jumlah	= 2 unit
		- Diameter	= 2,24 ft = 0,68 m
		- Lebar <i>blade</i> (W)	= 0,45 ft = 0,14 m
		- Panjang <i>blade</i> (L)	= 0,56 ft = 0,17 m
		- Lebar <i>Baffle</i> (J)	= 0,75 ft = 0,23 m
	- Power	= 119,29 hp = 88,95	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$462.440

9. Clarifier (H-130)

Tabel V.9 Spesifikasi Clarifier

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Nama Alat	: Clarifier
Kode Alat	: H-130
Fungsi Alat	: Mengendapkan impurities dan memisahkannya dari larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$
Tipe	: Circular
Bahan	: Carbon Steel
Kapasitas	: 68149 kg/jam
Volume	: 101,872 m ³
Tinggi	: 5,32 m
Diameter	: 6,38 m
Daya	: 0,50 hp
Waktu Tinggal	: 1,500 jam

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$34.605

10. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Pump (L-131)

Tabel V.10 Spesifikasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Pump

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Nama Alat	: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Pump
Kode Alat	: L-131
Fungsi Alat	: Memompa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menuju Reaktor
Tipe	: Centrifugal pump
Bahan	: Cast iron
Kapasitas	: 68124,4 kg/jam
Pipa	: Pipa 6 in sch 40
Power	: 14,63 hp = 10,894 kWh
Head	: 7,23 m
Jumlah	: 1 unit

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$34.605

11. Heater (E-132)

Tabel V.11 Spesifikasi Heater

Spesifikasi	Keterangan			
Fungsi	Menaikkan suhu larutan Ca(OH) ₂ masuk ke rotary dryer			
Tipe	1-2 Shell and Tube Heat Exchanger			
Bahan	Carbon Steel SA-129 A			
Suhu Masuk	Larutan Ca(OH) ₂	=	28	°C
	Steam	=	200	°C
Suhu Keluar	Larutan Ca(OH) ₂	=	60	°C
	Steam	=	60	°C
Shell Side (Sales)	Diameter Dalam	=	27,00	in
	Baffle Space	=	13,5	in
	Passes	=	1	
	ΔP	=	1,0724	psi
Tube Side (MCR)	Diameter Luar	=	1,00	in
	Jumlah Tube	=	302	
	BWG	=	14	
	Pitch	=	1,25	in
	a"	=	0,2618	ft ² /ft
	a'	=	0,546	in ²
	Passes	=	2	
	ΔP	=	7,1530	psi
Rd	0,0005558		jam.ft ² .oF/Btu	
Luas Area	948,7632		ft ²	
Jumlah Alat	1		Unit	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$55.599

12. CSTR (R-210)

Tabel V.12 Spesifikasi CSTR

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama alat	:	CSTR	
Kode Alat	:	R-210	
Fungsi Alat	:	Purifikasi Biogas menggunakan larutan Ca(OH)_2	
Tipe	:	Silinder tegak dengan tutup atas torispherical flanged dan dished head	
Kapasitas	:	1134,57	$\text{ft}^3 = 32,1275 \text{ m}^3$
Bahan Konstruksi	:	Carbon steel SA-283 grade C	
Jumlah tangki	:	1 unit	
- Diameter (OD)	=	96,00 in	= 8,00 ft = 2,44 m
- Diameter (ID)	=	95,38 in	= 7,95 ft = 2,42 m
- Tinggi : shell	=	280,18 in	= 23,35 ft = 7,12 m
tutup atas	=	19,60 in	= 1,63 ft = 0,50 m
tutup bawah	=	19,60 in	= 1,63 ft = 0,50 m
- Tebal : shell	=	5/16 in	= 0,03 ft = 0,01 m
tutup atas	=	7/16 in	= 0,04 ft = 0,01 m
tutup bawah	=	7/16 in	= 0,04 ft = 0,01 m
Spek. Nozzle Aliran PCC	:	Jenis = pipa	6 in sch 40
Outside diameter of flange (A)	=	11 in	
Thickness of flange minimum (T)	=	1 in	
Outside diameter of raised face (R)	=	8 1/2 in	
Diameter of hub at base (E)	=	7 4/7 in	
Diameter of hub at point of welding (K)	=	6 5/8 in	
Length through hub (L)	=	3 1/2 in	
Inside diameter of standard wall pipe (B)	=	6,07 in	
Spek. Nozzle Aliran Biomethane	:	Jenis = pipa	2 in sch 40
Outside diameter of flange (A)	=	6 in	
Thickness of flange minimum (T)	=	3/4 in	
Outside diameter of raised face (R)	=	3 5/8 in	
Diameter of hub at base (E)	=	3,06 in	
Diameter of hub at point of welding (K)	=	2 3/8 in	
Length through hub (L)	=	2 1/2 in	
Inside diameter of standard wall pipe (B)	=	2,07 in	
Spek. Pengaduk	:	- Jenis	= pitched blade turbine
		- Jumlah	= 3 unit
		- Diameter	= 2,38 ft = 0,73 m
		- Lebar blade (W)	= 0,48 ft = 0,15 m
		- Panjang blade (L)	= 0,60 ft = 0,18 m
		- Lebar Baffle (J)	= 0,66 ft = 0,20 m
		- Power	= 43,04 hp
Suhu Cooling water untuk pendingin jacket			= 60 °C

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$57.675

13. *Thickener (H-330)*

Tabel V.13 Spesifikasi *Thickener*

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	:	<i>Circular Thickener</i>
Kode Alat	:	H-330
Fungsi Alat	:	Mengendapkan PCC dan memisahkannya dengan air
Tipe	:	<i>Circular</i>
Bahan	:	<i>Carbon Steel</i>
Kapasitas	:	68186 kg/jam
Volume	:	101,91 m ³
Tinggi	:	5,32 m
Diameter	:	6,38 m
Daya	:	0,50 hp
Waktu Tinggal	:	1,5 jam

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$37.489

14. *PCC Sludge Pump (L-331)*

Tabel V.14 Spesifikasi *PCC Sludge Pump*

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	:	<i>PCC Sludge Pump</i>
Kode Alat	:	L-331
Fungsi Alat	:	Memompa Sludge menuju Storage
Tipe	:	<i>Centrifugal pump</i>
Bahan	:	<i>Cast iron</i>
Kapasitas	:	320,69 kg/jam
Pipa	:	Pipa 0.5 in sch 40
Power	:	0,0014 hp
Head	:	1,48723 m
Jumlah	:	1 unit

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$2.768

15. PCC Sludge Storage Vessel (F-332)

Tabel V.15 Spesifikasi PCC Sludge Storage Vessel

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama alat	:	PCC Storage Vessel	
Kode Alat	:	F-332	
Fungsi Alat	:	Menyimpan PCC Sludge sebelum masuk ke Frame and Plate Filter Press	
Tipe	:	Dished Head top and conical bottom	
Kapasitas	:	15,0 ft ³	= 0,425 m ³
Bahan Konstruksi	:	Grade M SA 240 tipe 316	
Jumlah Tangki	:	1	unit
Spek. Tangki	:		
- Diameter tangki (OD)	=	24 in	= 0,61 m = 2,00 ft
- Diameter (ID)	=	23,923 in	= 0,61 m = 1,99 ft
- Tinggi :			
shell	=	22,217 in	= 0,56 m = 1,85 ft
tutup atas	=	6,654 in	= 0,17 m = 0,55 ft
tutup bawah	=	0,000 in	= 0,00 m = 0,00 ft
- Tebal :			
shell	=	0,077 in	= 0,002 m = 0,01 ft
tutup atas	=	0,088 in	= 0,002 m = 0,01 ft
tutup bawah	=	0,091 in	= 0,002 m = 0,01 ft
- Pengaduk :			
Diameter impeller	=	0,60 ft	= 0,1829 m
Lebar blade (W)	=	0,167 ft	= 2,8098 m
Panjang blade (L)	=	0,15 ft	= 3,8098 m
Lebar Baffle (J)	=	0,167 ft	= 4,8098 m
Clearance	=	0,67 ft	= 5,8098 m
Shaft	=	1,74 ft	= 6,8098 m
Putaran pengaduk	=	11 rpm	
Jumlah pengaduk	=	1 unit	
Power pengaduk	=	0,0000004 hp	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$59.982

16. *PCC Sludge Pump (L-333)*

Tabel V.16 Spesifikasi *PCC Sludge Pump*

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Nama Alat	: <i>PCC Sludge Pump</i>
Kode Alat	: L-333
Fungsi Alat	: Memompa PCC Sludge menuju Plate and Frame Filter Press
Tipe	: <i>Centrifugal pump</i>
Bahan	: <i>Cast iron</i>
Kapasitas	: 320,69 kg/jam
Pipa	: Pipa 0.5 in sch 40
Power	: 0,03981 hp
Head	: 42,4838 m
Jumlah	: 1 unit

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$2.768

17. *Plate and Frame Filter Press (H-340)*

Tabel V.17 Spesifikasi *Plate and Frame Filter Press*

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Nama Alat	: <i>Plate and Frame Filter Press</i>
Kode Alat	: H-340
Fungsi	: Memisahkan cake PCC dengan filtrat
Tipe	: <i>Horizontal plate & frame</i>
Bahan Plate	: <i>Cast iron</i>
Dimensi	: Luas filter : 0,096 m ² Jumlah frame : 14 buah Jumlah plate : 13 buah
Jumlah cake / siklus	: 683,11 kg
Waktu tinggal	: 4 jam
Jumlah unit	: 2 buah

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$24.108

18. PCC Belt Conveyor (J-342)

Tabel V.18 Spesifikasi PCC Belt Conveyor

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	<i>Belt Conveyor</i>	
Kode Alat	:	J-342	
Fungsi Alat	:	Memindahkan PCC Cake ke PCC Cake Storage Tank	
Tipe	=	Throughed belt on continuous plate	
Lebar belt	=	14 in	= 36 cm
Tinggi skirt plate	=	7 in	= 18 cm
Kecepatan normal conveying (u)	=	200 ft/menit	= 3,3 ft/s
Kemiringan	=	15 °	
		ton/ja	
Kapasitas Maksimum	=	32 m	
Best plies minimum	=	3 buah	
Power	=	0,22 Hp	
Ukuran lump maksimum	=	3 in	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$3.230

19. PCC Cake Storage (F-341)

Tabel V.19 Spesifikasi PCC Cake Storage

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama alat	:	<i>PCC Cake Storage</i>	
Kode Alat	:	F-341	
Fungsi Alat	:	Tempat penyimpanan PCC sementara sebelum masuk rotary dryer	
Tipe	:	Storage berbentuk dome dengan tutup atas berbentuk <i>conical</i> dan tutup bawah berbentuk <i>flat-bottomed</i> pada pondasi	
Kapasitas	:	3,3 ft ³	= 0,09 m ³
Bahan Konstruksi	:	Carbon steel SA-283 grade C	
Jumlah Tangki	:	1 unit	
Spek. Tangki	:		
	-	Diameter tangki (OD)	= 2,5 ft = 0,76 m
	-	Diameter (ID)	= 2,5 ft = 0,75 m
	-	Tinggi : shell	= 2,5 ft = 0,7 m
		tutup atas	= 0,33 ft = 0,10 m
	-	Tebal : shell	= 1/4 in
		tutup atas	= 3/8 in

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$25.262

20. *PCC Cake Screw Conveyor (J-343)*

Tabel V.20 Spesifikasi *PCC Cake Screw Conveyor*

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Nama Alat	: <i>PCC Cake Screw Conveyor</i>
Kode Alat	: J-343
Fungsi Alat	: Memindahkan PCC ke Rotary Dryer
Material Classification	: <i>III E</i>
Tipe Bearing Digunakan	: <i>Sealmaster Bearing</i>
Rotasi Screw	: 6,275 rpm
Power Dibutuhkan	: 0,009 hp
Jumlah	: 1

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$3.230

21. *Rotary Dryer (B-350)*

Tabel V.21 Spesifikasi *Rotary Dryer*

Kesimpulan spesifikasi alat	
Nama Alat	: <i>Rotary Dryer</i>
Kode Alat	: B-350
Fungsi Alat	: Mengeringkan PCC setelah dari <i>Plate and Frame</i>
Tipe	: <i>Direct Continuous Rotary Dryer</i>
Bahan	: <i>Carbon Steel</i>
Kapasitas	: 376,5 lb/jam
Panjang	: 5,35 m
Diameter	: 0,75 m
Putaran	: 10,000 rpm
Kemiringan	: 2,29 derajat
Waktu Tinggal	: 1,906 jam

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$112.236

22. Heater (E-351)

Tabel V.22 Spesifikasi Heater

Spesifikasi	Keterangan			
Fungsi	Menaikkan suhu dry air masuk ke rotary dryer			
Tipe	1-2 Shell and Tube Heat Exchanger			
Bahan	Carbon Steel SA-129 A			
Suhu Masuk	Udara	=	28	°C
	Steam	=	300	°C
Suhu Keluar	Udara	=	255	°C
	Steam	=	300	°C
Shell Side (Sales)	Diameter Dalam	=	12	in
	Baffle Space	=	6	in
	Passes	=	1	
	ΔP	=	0,4307	psi
Tube Side (MCR)	Diameter Luar	=	1,50	in
	Jumlah Tube	=	18	
	BWG	=	14	
	Pitch	=	1,875	in
	a"	=	0,3925	ft ² /ft
	a'	=	1,4	in ²
	Passes	=	2	
	ΔP	=	0,0012	psi
Rd	0,0037838		jam.ft ² .oF/Btu	
Luas Area	84,78		ft ²	
Jumlah Alat	1		Unit	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$3.807

23. PCC Screw Conveyor (J-352)

Tabel V.23 Spesifikasi PCC Screw Conveyor

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Nama Alat	: PCC Screw Conveyor
Kode Alat	: J-352
Fungsi Alat	: Memindahkan PCC dari Rotary Dryer ke Ball Mill
Material Classification	: III E
Tipe Bearing Digunakan	: Sealmaster Bearing
Rotasi Screw	: 5,312 rpm
Power Dibutuhkan	: 0,00747 hp
Jumlah	: 1

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$3.114

24. Cyclone (H-353)

Tabel V.24 Spesifikasi Cyclone

Spesifikasi	Keterangan	
Nama Alat	Cyclone	
Kode Alat	H-353	
Fungsi	memisahkan padatan CaCO ₃ yang masih terkandung aliran udara pengering keluar dari rotary dryer.	
Type	High efficiency cyclone	
Bahan Konstruksi	Cast Iron	
Diameter lubang <i>inlet</i>	0,0158	m
Jumlah Putaran dalam <i>cyclone</i>	3,5	
Dc	0,063247433	m
Hc	0,031623717	m
Lc	0,126494866	m
Zc	0,126494866	m
Jc	0,015811858	m
Sc	0,007905929	m

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$12.919

25. Ball Mill (C-360)

Tabel V.25 Spesifikasi Ball Mill

Spesifikasi	Keterangan		
No Kode	C-360		
Fungsi	menggicilkan ukuran PCC akibat aglomerasi		
Type	Marcy ball mill		
Bahan Konstruksi	Cast Iron		
Dimensi	Diameter Bahan Masuk	=	0,1 cm
	Diameter Bahan Keluar	=	0,0002 cm
	Power	=	3,6519 kW
	Diameter bola	=	4,3941 cm
	Kecepatan kritis	=	34,31 rpm
Kapasitas	144.573		kg/jam
Kondisi Operasi	Suhu:	=	60 °C
	Tekanan:	=	1 atm
Jumlah	1 unit		

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$301.757

26. PCC Storage (F-361)

Tabel V.26 Spesifikasi *PCC Storage*

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Tipe	=	Bangunan balok	
Jumlah Gudang	=	1 buah	
Kapasitas	=	12118,77138	ft ³
Ukuran	=	panjang	= 15,926 ft = 4,85431 m
		Lebar	= 7,963 ft = 2,42715 m
		Tinggi	= 11,945 ft = 3,64073 m
Bahan konstruksi	=	Batu bata dan semen	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$234.969

27. Knock Out Drum (H-310)

Tabel V.27 Spesifikasi *Knock Out Drum*

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	Knock Out Drum	
Kode Alat	:	H-310	
Fungsi Alat	:	Memisahkan H ₂ O dari Biomethane	
Tipe	:	<i>Vertical Knock Out Drum</i>	
Kapasitas	:	1,7	ft ³
Bahan Konstuksi	:	<i>Grade M SA 240 Tipe 316</i>	
Jumlah Tangki	:	1	unit
Spek Tangki	:	Total tinggi separator	= 4,10975 ft = 1,25265 m
		Diameter separator	= 0,71899 ft = 0,21915 m
		Volume total separator	= 1,66858 ft ³ = 0,04725 m ³
		Tebal silinder	= 0,08299 in
		Tebal tutup atas	= 0,09881 in
	Tebal tutup bawah	= 0,01026 in	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$23.635

28. Biomethane Compressor Package (G-321)

Tabel V.28 Spesifikasi *Biomethane Compressor Package*

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Nama Alat	: <i>Biogas Compressor</i>
Kode Alat	: G-321
Type	: <i>Centrifugal compressor</i>
Fungsi	: Menaikkan tekanan biogas menuju cbg storage tank
Jumlah stage	: 2 buah Compressor
Kondisi operasi	: $P_{suction} = 5 \text{ atm}$
	: $P_{discharge} = 200 \text{ atm}$
Ratio	: 3,42 Stage
Bahan	: <i>Cast Iron</i>
Kapasitas	: 425,6 kg/jam
mechanical Efisiensi	: 80 %
Power	: 0,8 kW

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$2.422

29. Intercooler (E-322)

Tabel V.29 Spesifikasi *Intercooler*

Spesifikasi	Keterangan			
Fungsi	Menurunkan suhu biogas setelah dari compressor			
Type	2-4 Shell and Tube Heat Exchanger			
Bahan	Carbon Steel SA-129 A			
Suhu Masuk	Sales Gas	=	28	°C
	MCR	=	621,0	°C
Suhu Keluar	Sales Gas	=	90	°C
	MCR	=	30	°C
Shell Side (Sales)	Diameter Dalam	=	14	in
	Baffle Space	=	7	in
	Passes	=	4	
	ΔP	=	0,0002	psi
Tube Side (MCR)	Diameter Luar	=	1,5	in
	Jumlah Tube	=	14	
	BWG	=	8	
	Pitch	=	1,875	in
	a"	=	0,3925	ft ² /ft
	a'	=	1,075	in ²
	Passes	=	2	
	ΔP	=	0,1540	psi
Rd	0,0013740		hr.ft ² .°F/Btu	
Luas Area	65,94		ft ²	
Jumlah Alat	1		Unit	

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$2.653

30. *CBG Storage Tank (F-320)*

Tabel V.30 Spesifikasi *CBG Storage Tank*

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	<i>CBG Storage Tank</i>	
Kode Alat	:	F-320	
Fungsi Alat	:	Menyimpan biogas yang dihasilkan	
Tipe	:	<i>Spherical Storage</i>	
Kapasitas	:	215,2 ft ³	
Bahan Konstuksi	:	<i>High Alloy Steel SA 240 Grade B</i>	
Jumlah Tangki	:	1 unit	
Spek Tangki	:	Diameter Tangki (OD) =	2,30446 m
	:	Tebal =	0,127 m

Harga per Alat (Tahun 2021) : \$303.372

BAB VI

ANALISA EKONOMI

Analisa ekonomi merupakan salah satu parameter apakah suatu pabrik tersebut layak didirikan atau tidak. Karena pabrik yang didirikan merupakan pilot plant, maka untuk menentukan kelayakan suatu pabrik secara ekonomi, diperlukan analisis biaya yang diperlukan untuk beroperasi dan utilitas serta pengadaan lahan untuk pabrik.

VI.1 Utilitas

Utilitas merupakan sarana penunjang suatu industri, karena utilitas merupakan penunjang proses utama dan memegang peranan penting dalam pelaksanaan operasi dan proses. Sarana utilitas pada Pabrik Purifikasi Biogas dari limbah pabrik asetilen ini meliputi :

1. Air

Air pada pabrik ini berfungsi sebagai air pendingin, dan *produced water* dan air sanitasi.

2. Steam

Steam pada pabrik ini digunakan sebagai pemanas pada heater.

3. Listrik

Berfungsi sebagai tenaga penggerak dari peralatan proses maupun penerangan. Kebutuhan listrik untuk proses pabrik ini berasal dari kebutuhan listrik peralatan (heater, pompa, pengaduk, kompresor, dll). Pemenuhan kebutuhan listrik melalui Sistem Pembangkit Tenaga Surya dan perusahaan listrik negara (PLN).

4. Penanganan limbah

Penangan limbah digunakan untuk mencegah dan menanggulangi pencemaran di dalam dan sekitar pabrik.

Maka untuk memenuhi kebutuhan utilitas pabrik di atas, diperlukan unit-unit sebagai penghasil sarana utilitas, yaitu :

VI.2.1 Unit Pengolahan Air

Kebutuhan air untuk pabrik diambil dari air sungai, dimana sebelum digunakan air sungai perlu diolah lebih dulu, agar tidak mengandung zat-zat pengotor, dan zat-zat lainnya yang tidak layak untuk kelancaran operasi. Air pada pabrik Purifikasi biogas menggunakan karbonasi mineral $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari limbah asetilen dengan CSTR ini digunakan untuk kepentingan :

- Air sanitasi, meliputi air untuk laboratorium dan karyawan. Air sanitasi digunakan untuk keperluan para karyawan di lingkungan pabrik. Penggunaannya antara lain untuk konsumsi, mencuci. Untuk unit penghasil air sanitasi.

Adapun syarat air tersebut, meliputi :

- a. Syarat fisik :
 - Suhu di bawah suhu udara
 - Warna jernih
 - Tidak berasa
 - Tidak berbau
 - Kekeruhan SiO_2 tidak lebih dari 1 mg / liter
 - b. Syarat kimia :
 - pH = 6,5 - 8,5
 - Tidak mengandung zat terlarut yang berupa zat organik dan anorganik seperti PO_4 , Hg, Cu dan sebagainya
 - c. Syarat bakteriologi :
 - Tidak mengandung kuman atau bakteri, terutama bakteri patogen
 - Bakteri E. coli kurang dari 1/ 100 ml
- Air proses, meliputi air yang digunakan untuk mendinginkan cooler serta jacket pada reaktor untuk berbagai proses meliputi air yang digunakan untuk proses pencampuran pada mixer tank

VI.2.2 Unit Pembangkit Tenaga Listrik

Kebutuhan listrik yang diperlukan untuk pabrik Purifikasi biogas menggunakan karbonasi mineral $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari limbah asetilen dengan CSTR ini diambil dari PLN dan generator sebagai penghasil tenaga listrik, dengan distribusi sebagai berikut :

- Untuk proses produksi diambil dari PLN dan generator jika sewaktu-waktu ada gangguan listrik dari PLN.
- Untuk penerangan pabrik dan kantor, diambil dari PLN.

VI.2.3 Unit Penanganan Limbah

Bagian ini mempunyai tugas antara lain mencegah dan menanggulangi pencemaran di dalam dan di sekitar area pabrik. Pengelolaan dan pemantauan kualitas lingkungan sesuai dengan standar dan ketentuan perundangan yang berlaku. Pengelolaan bahan berbahaya dan beracun, mencakup: pengangkutan, penyimpanan, pengoperasian, dan pemusnahan. Pengelolaan *house keeping* dan penghijauan di dalam dan sekitar area pabrik.

BAB VII KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada bab-bab terdahulu maka dapat diambil kesimpulan dari analisa studi kelayakan pada Pra Desain Pabrik Purifikasi Biogas PT. Eneo dengan Karbonasi Mineral $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari Limbah Pabrik Asetilen Menggunakan Reaktor CSTR ini. Studi kelayakan yang dimaksud meliputi studi kelayakan secara teknis maupun secara ekonomis. Secara singkat, evaluasi tersebut dapat disajikan sebagai berikut:

1. Secara Teknis

Pabrik Purifikasi Biogas dari limbah pabrik asetilen dapat didirikan di Suko Sewu, Gempolkrep, Kecamatan Gedek, Mojokerto, Jawa Timur, dengan kapasitas 792.000 ton/tahun yang akan menghasilkan 337,067 ton biogas/tahun dan 1547,18 ton PCC/tahun dengan jumlah limbah asetilen terolah sebanyak 716,332 ton/tahun.

Ditinjau dari aspek teknis yang telah dijabarkan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa Pra Desain Pabrik Purifikasi Biogas PT. Eneo dengan Karbonasi Mineral $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari Limbah Pabrik Asetilen Menggunakan Reaktor CSTR ini layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, Bella. 2016. *Pembuatan PCC dari Limbah Cangkang Sotong dengan Variasi Konsentrasi Penambahan HNO_3* . Palembang. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Brownell, L.e. and Young, E.H., 1959. *Process Equipment Design*. New Delhi : Wiley Eastern Limited.
- Geankopolis, Christie John. 2003. *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operation), 4th Edition*. USA : Pearson Education Inc.
- Kern, Donald. 1950. *Process Heat Transfer*. New York : McGraw-Hill Book Company.
- Kusnarjo. 2010. *Desain Alat Industri Kimia*. Surabaya : ITS Press.
- Maarif, Fuad dan Arif, Januar F., 2009. *Absorpsi Gas Karbondioksida (CO_2) dalam Biogas dengan Larutan NaOH secara Kontinyu*. Semarang. Universitas Diponegoro Semarang.
- Perry, H. Robert. 1997. *Chemical Engineering Handbook 7th Edition*. New York : McGrawHill.
- Polasek, John. and Bullin, Jerry A., 1994. *Selecting Amines for Sweetening Units*. Texas. Bryan Research and Engineering.
- Sang-Jun Han, Miran Yoo, Dong-Woo Kim, and Jung-Ho Wee. 2011. *Carbon Dioxide Capture Using Calcium Hydroxide Aqueous Solution as the Absorbent*. Republic of Korea. The Catholic University of Korea.
- Sugiarto, Tjuk Oerbandono, Denny Widhiyanuriyawan, Faruq Syah Permana Putra. 2013. *Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit*. Malang. Universitas Brawijaya.

- Tzu-Hsing Ko, Hsin Chu, Hsiao-Ping Lin, Ching-Yu Peng. 2006.
Red soil as a regenerable sorbent for high temperature removal of hydrogen sulfide from coal gas. Taiwan. Journal of Hazardous Materials.
- Van Ness, S. 1967. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 4th Edition.*
Singapore : International Edition, McGraw-Hill Inc.