TUGAS DESAIN PABRIK KIMIA- TK 184803

PRA DESAIN PABRIK PURIFIKASI BIOGAS PT.ENERO MENGGUNAKAN KARBONASI MINERAL Ca(OH)2 DENGAN STEEL SLAG (BUBBLE COLUMN REACTOR)

Oleh :
MARCO ALEXANDER LAKSONO
NRP 02211640000005

TANIA DEALINA SARI
NRP 02211640000159

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng.
Dr.Kusdianto,ST.MSc.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tugas Desain Pabrik Kimia dengan Judul :

"PRA-DESAIN PABRIK PURIFIKASI BIOGAS PT ENERO DENGAN KARBONASI MINERAL $Ca(OH)_2$ DARI STEEL SLAG (BUBBLE COLUMN REACTOR)"

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

Oleh :

Marco Alexander Laksono	**NRP. 02211640000005**
Tania Dealina Sari	**NRP. 02211640000159**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Desain Pabrik Kimia :

1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng ……
   (Pembimbing I)
2. Dr. Kusdianto, ST, M.Sc, Eng ……
   (Pembimbing II)
3. Hakun Wirawasista Aparamarta, ST, MMT., Ph.D ……
   (Penguji I)
4. Dr. Eng. Widiyastuti, ST.,MT ……
   (Penguji II)
5. Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng ……
   (Penguji III)

Surabaya
Februari 2020

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

INTISARI

Abad 21 yang baru ini dicirikan dengan meningkatnya arus globalisasi. Globalisasi terjadi dari segi budaya, informasi, keuangan, dan arus perpindahan barang. Hal ini menyebabkan perubahan dari cara hidup manusia dan menyebabkan setiap individu juga harus melakukan penyesuaian-penyesuaian terhadap perubahan zaman yang terjadi di sekitarnya. Hal ini tentunya akan menimbulkan gaya hidup yang baru bagi manusia. Tidak terkecuali juga bagi dunia industri. Globalisasi berarti adanya persaingan industri yang lebih luas karena perpindahan barang yang lebih bebas.

Pada zaman modern ini, industri baja memiliki berbagai tantangan dan peluang. Peluang yang ada berupa program pembangunan infrastruktur yang dicanangkan pemerintah Indonesia. Hal ini tentunya akan menguntungkan industri secara langsung karena akan meningkatkan *demand* untuk produk-produk industri baja. Namun, di lain tempat tantangan-tantangan untuk industri ini juga semakin besar. Hal ini adalah maraknya impor produk-produk baja sehingga industri baja Indonesia harus menjadi meningkatkan kemampuan agar menjadi industri yang efisien agar mampu bersaing dengan baja impor dari luar negeri. Selain itu, seiring dengan tantangan tersebut, limbah baja juga akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya produksi baja di Indonesia. Pengolahan limbah *steel slag* akan menjadi solusi yang mampu meningkatkan keekonomisan operasi dari pabrik baja.

Akibat kerusakan lingkungan yang semakin meningkat akibat penggunaan bahan bakar fosil membuat berbagai pihak berusaha mencari alternatif-alternatif lain yang lebih ramah lingkungan. Ada beberapa contoh alternatif tersebut. Salah

satunya adalah penggunaan biogas yang merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan terbarukan. Biogas dipilih karena menghasilkan emisi CO_2 yang lebih rendah dibandingkan dengan BBM konvensional.

Oleh karena itu, dengan potensi yang dimiliki ini, pendirian Pabrik Kimia Purifikasi Biogas PT Enero dengan Karbonasi Mineral $Ca(OH)_2$ dari Steel Slag (Bubble Column Reactor) adalah salah satu solusi yang tepat. Hal ini berdampak positif terhadap masyarakat sekitar, karena dapat menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat sekitar dan dapat menciptakan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan sehingga dapat mengurangi polusi udara. Karenanya, diperlukan komitmen dari semua pihak terutama dukungan masyarakat sekitar dan pemerintah agar pendirian pabrik dapat terwujud dengan baik dan lancar.

Limbah *steel slag* merupakan limbah industri baja yang memiliki kandungan CaO yang tinggi (45%) yang sangat disayangkan apabila dibuang begitu saja, karena logam tersebut memiliki banyak manfaat. CaO ini dapat diekstraksi kandungan kalsium-nya, dan akan digunakan untuk menyerap kandungan CO_2 dan CO_2 ini diikat oleh kandungan kalsium dan menjadi produk bernilai tinggi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). PCC ini utamanya akan digunakan sebagai *filler* dan *coating* untuk industri *pulp&paper*. Potensi penggunaan lain juga meliputi untuk bahan industri farmasi, cat, keramik, makanan dan industri lainnya.

Limbah biogas masih mengandung 62% volume metana dalam gas dan masih harus dimurnikan agar bisa difungsikan. Kadar H_2S dimurnikan dengan *fixed bed reactor* sedangkan CO_2 dimurnikan dengan limbah *steel slag.*

Pabrik ini rencananya akan dibangun di Desa Gempolkerep, Kecamatan Gedeg Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur. Pemilihan lokasi ini dengan pertimbangan bahwa dekat dengan sumber biogas, yaitu PT Enero. Pemilihan lokasi tidak dilakukan dekat dengan pabrik baja karena mahalnya biaya transportasi gas dengan pipa. Penyediaan utilitas dan sumber listrik mudah karena dekat dengan pabrik PT Enero dan disuplai oleh PT PLN. Kabupaten Mojokerto memiliki UMK 2019 sebesar Rp 2.263.665, sedangkan pengangguran di Kabupaten Mojokerto (2018) berjumlah 2.430 orang atau sejumlah 3,61 persen.

Dari analisa ekonomi, *Internal Rate Return* (IRR) yang diperoleh sebesar 20,20% dimana dengan IRR tersebut mengindikasikan bahwa pabrik layak untuk didirikan dengan suku bunga sebesar 12% dan diperoleh *Pay Out Time* (POT) sebesasr 6,59 tahun. Perhitungan analisa ekonomi didasarkan pada *discounted cash flow*. Modal yang dibutuhkan untuk mendirikan sebesar Rp 840.010.502.890. Sedangkan *Break Even Point* (BEP) yang diperoleh sebesar 21,24%. Dilakukan juga perhitungan NPV (*Net Present Value*), dimana diperoleh nilai Rp 1.213.209.264.544. Harga *Net Present Value* yang diperoleh bernilai positif (NPV>0). Hal ini menunjukkan bahwa proyek akan menambah nilai bagi pemegang saham sehingga proyek pembangunan pabrik ini layak untuk dilaksanakan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Pra Desain Pabrik Purifikasi Biogas PT. Enero dengan Karbonasi Mineral $Ca(OH)_2$ dari *Steel Slag* (*Bubble Column Reactor*) dengan baik dan tepat waktu.

Tugas Pra Desain Pabrik ini merupakan kewajiban yang harus dilaksanakan oleh setiap mahasiswa sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Namun demikian, penulis berharap laporan ini tak hanya sebagai pemenuh kewajiban tapi lebih dari itu dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan dapat diaplikasikan dalam dunia inudstri.

Penulisan laporan ini dapat diselesaikan tidak lepas dari dukungan, bimbingan, serta bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Tuhan YME karena atas segala kehendak-Nya, penulis diberi kesabaran dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan laporan kerja praktik ini.
2. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing 1 dan Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran dan Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc., Eng selaku Dosen Pembimbing 2 atas bimbingan dan saran-saran yang telah diberikan
3. Dr. Suci Madhania, S.T, M.T., Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng, serta Dr. Siti Machmudah, S.T, M.Eng

selaku Dosen Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran

4. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan baik moral maupun material, serta kasih sayang dan motivasinya.
5. Teman-teman Departemen Teknik Kimia Angkatan 2016 serta Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran
6. Semua pihak yang turut membantu penulis dalam penyusunan Pra Desain Pabrik baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan laporan pra desain pabrik ini masih terdapat kekurangan baik dari segi materi maupun penyajian. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, 9 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN
INTISARI.....i
KATA PENGANTAR.....iv
DAFTAR ISI.....vi
DAFTAR TABEL.....viii
DAFTAR GAMBAR.....xii
BAB I PENDAHULUAN.....I-1
I.1 Latar Belakang.....I-1
I.2 Produksi Bahan Baku.....I-3
I.3 Aspek Marketing.....I-6
I.4 Prospek.....I-7
I.5 Penggunaan Produk.....I-9
BAB II BASIS DESAIN DATA.....II-1
II.1 Kapasitas.....II-1
II.2 Lokasi Pabrik.....II-1
II.3 Kualitas Bahan Baku dan Produk.....II-2
BAB III SELEKSI DAN URAIAN PROSES.....III-1
III.1 Macam-macam Proses.....III-1
III.2 Seleksi Proses.....III-41
III.3 Uraian Prose**s.....**III-47
BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI.....IV-1
IV.1 Neraca Massa.....IV-1
IV.2 Neraca Energi.....IV-26
BAB V DAFTAR DAN HARGA PERALATAN.....V-1
BAB VI ANALISA EKONOMI.....VI-1
VI.1 Pengelolaan Sumber Daya Manusia.....VI-1
VI.2 Utilitas.....VI-16
VI.3 Analisa Ekonomi.....VI-18

BAB VII KESIMPULAN.....VII-1
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel IV-1 Komposisi Biogas.....IV-2
Tabel IV-2 Komposisi Blast Furnace Steel Slag.....IV-2
Tabel IV-3 Komposisi Soil Laterite.....IV-3
Tabel IV-4 Neraca Massa Ball Mill (C-123).....IV-4
Tabel IV-5 Neraca Massa Aliran Masuk dan Keluar Tangki Pelarutan Larutan NH_4Cl (M-128)).....IV-5
Tabel IV-6 Neraca Massa Tangki Pelarutan NH_4Cl (M-128).IV-5
Tabel IV-7 Neraca Massa Titik Pertemuan Recyle.....IV-6
Tabel IV-8 Neraca Massa Titik Pertemuan Recycle.....IV-7
Tabel IV-9 Neraca Massa Reaktor Pretreatement (R-120).....IV-7
Tabel IV-10 Neraca Massa Reaktor Pretreatment (R-120).....IV-8
Tabel IV-11 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (H-211).....IV-9
Tabel IV-12 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (H-211).....IV-9
Tabel IV-13 Neraca Massa Masuk Bubble Column.....IV-10
Tabel IV-14 Neraca Massa Keluar Bubble Column.....IV-11
Tabel IV-15 Neraca Massa Bubble Column (R-210).....IV-12
Tabel IV-16 Neraca Massa Masuk Bubble Column.....IV-12
Tabel IV-17 Neraca Massa Keluar Bubble Column.....IV-13
Tabel IV-18 Neraca Massa Bubble Column (R-220).....IV-14
Tabel IV-19 Neraca Massa Aliran Masuk Thickener.....IV-15
Tabel IV-20 Neraca Massa Aliran Keluar Thickener IV-16
Tabel IV-21 Neraca Massa Thickener (H-310).....IV-17
Tabel IV-22 Neraca Massa Aliran Masuk Plate and Frame Filter Press (H-320).....IV-17
Tabel IV-23 Neraca Massa Aliran Keluar Plate and Frame Filter Press (H-320).....IV-18

Tabel IV-24 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (H-320).....IV-19
Tabel IV-25 Neraca Massa Aliran Masuk Rotary Dryer (B-330).....IV-20
Tabel IV-26 Neraca Massa Aliran Keluar Rotary Dryer (B-330).....IV-21
Tabel IV-27 Neraca Massa Rotary Dryer (B-330).....IV-21
Tabel IV-28 Neraca Massa Cyclone (H-332).....IV-22
Tabel IV-29 Neraca Massa Aliran Keluar Cyclone.....IV-23
Tabel IV-30 Neraca Massa Cyclone (H-332).....IV-24
Tabel IV-31 Neraca Massa Ball Mill (C-334).....IV-24
Tabel IV-32 Neraca Massa Aliran Masuk Adsorber.....IV-25
Tabel IV-33 Neraca Massa Aliran Keluar Adsorber.....IV-26
Tabel IV-34 Neraca Massa Adsorber (D-340).....IV-26
Tabel IV-35 Neraca Energi Recycle NH4Cl.....IV-27
Tabel IV-36 Neraca Energi Recycle NH4Cl.....IV-27
Tabel IV-37 Neraca Energi *Plate and Frame Filter Press* (H-211).....IV-28
Tabel IV-38 Neraca Energi *Compressor* (G-111).....IV-28
Tabel IV-39 Neraca Energi *Cooler* (E-112).....IV-29
Tabel IV-40 Neraca Energi Bubble Column Reactor (R-210).....IV-30
Tabel IV-41 Neraca Energi *Bubble Column Reactor* (R-220).....IV-30
Tabel IV-42 Neraca Energi *Thickener* (H-310).....IV-31
Tabel IV-43 Neraca Energi *Plate and Frame Filter Press* (H-320).....IV-32
Tabel IV-44 Neraca Energi *Rotary Dryer* (B-330).....IV-33
Tabel IV-45 Neraca Energi Heater (E-337).....IV-33
Tabel IV-46 Neraca Energi *Multistage* Compressor.....IV-34

Tabel IV-47 Neraca Energi *Intercooler Multistage Compressor* (G-351).....IV-34
Tabel V-1 Spesifikasi Fixed Bed Column (R-110).....V-1
Tabel V-2 Spesifikasi Compressor (G-111).....V-2
Tabel V-3 Spesifikasi Cooler (E-112).....V-3
Tabel V-4 Spesifikasi Pre-treatment Tank (R-120).....V-3
Tabel V-5 Spesifikasi Gudang Penyimpanan Steel Slag.....V-6
Tabel V-6 Spesifikasi Belt Conveyor Steel Slag (J-122).....V-6
Tabel V-7 Spesifikasi Ball Mill (C-123).....V-7
Tabel V-8 Spesifikasi Screw Conveyor (J-124).....V-8
Tabel V-9 Spesifikasi NH_4Cl Storage (F-125).....V-8
Tabel V-10 Spesifikasi NH_4Cl Pump (L-126).....V-9
Tabel V-11 Spesifikasi Pre-treatment Pump (L-127).....V-10
Tabel V-12 Spesifikasi Tangki Pelarutan (M-128).....V-10
Tabel V-13 Spesifikasi Bubble Column Reactor (R-210).....V-11
Tabel V-14 Spesifikasi Plate and Frame (H-211).....V-13
Tabel V-15 Spesifikasi Filter Press Pump (L-212).....V-14
Tabel V-16 Spesifikasi Bubble Column Reactor (R-220).....V-14
Tabel V-17 Spesifikasi Bubble Column Pump (L-221).....V-15
Tabel V-18 Spesifikasi Thickener (H-310).....V-16
Tabel V-19 Spesifikasi Thickener Pump (L-311).....V-17
Tabel V-20 Spesifikasi Recycle Tank (F-312).....V-17
Tabel V-21 Spesifikasi Plate and Frame Filter Press (H-320).V-19
Tabel V-22 Spesifikasi Slurry Storage (F-321).....V-19
Tabel V-23 Spesifikasi Underflow Pump (L-322).....V-20
Tabel V-24 Spesifikasi Rotary Dryer (B-330).....V-21
Tabel V-25 Spesifikasi Screw Conveyor (J-331).....V-22
Tabel V-26 Spesifikasi Cyclone (H-332).....V-22
Tabel V-27 Spesifikasi Screw Conveyor (J-333).....V-23
Tabel V-28 Spesifikasi Ball Mill (C-334).....V-24
Tabel V-29 Spesifikasi Screw Conveyor (J-335).....V-25

Tabel V-30 Spesifikasi PCC Storage (F-336).....V-25
Tabel V-31 Spesifikasi Heater (E-337).....V-26
Tabel V-32 Spesifikasi Fixed Bed Column Adsorber.....V-27
Tabel V-33 Spesifikasi Biomethane Storage Tank (F-350).....V-28
Tabel V-34 Spesifikasi Biogas Compressor (G-351).....V-28
Tabel V-35 Spesifikasi Intercooler Multistage Compressor (G-351).....V-29

DAFTAR GAMBAR

Gambar III.1 *Bubble Column Reactor*.....III-12
Gambar III.2 *Packed Bed Reactor*.....III-14
Gambar III.3 *Fixed Bed Reactor*.....III-15
Gambar III.4 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR).....III-16
Gambar III.5 Komponen dari Proses Separasi Solid-Liquid..III-20
Gambar III.6 *Disc Filter*.....III-22
Gambar III.7 *Horizontal Belt Filter*.....III-23
Gambar III.8 *Rotary Drum Filter*.....III-24
Gambar III.9 *Plate and Frame Filter Press*.....III-25
Gambar III.10 *Gravity Thickening*.....III-28
Gambar III.11 *Centrifugal Thickening*.....III-28
Gambar III.12 *Rotary Dryer*.....III-30
Gambar III.13 *Spray Dryer*.....III-31
Gambar III.14 *Rotary Cutter Mill*.....III-33
Gambar III.15 *Roller Mill*.....III-34
Gambar III.16 *Ball Mill*.....III-35
Gambar III.17 *Tower Silo*.....III-36
Gambar III.18 *Positive Displacement Pump*.....III-41
Gambar III.19 Skema Proses Purifikasi Biogas dan Precipitated Calcium Carbonate.....III-50
Gambar VI.1 Grafik BEP Pabrik Precipitated Calcium Carbonate (PCC).....VI-24

BAB I

LATAR BELAKANG

I.1 Latar Belakang

Pemanasan global belakangan ini menjadi isu global yang mengkhawatirkan. Hal ini karena pemanasan global dapat meningkatkan suhu lingkungan. Kenaikan suhu lingkungan ini dapat menyebabkan berubahnya lapisan biosfer, seperti mencairnya es di kutub utara. Hal ini tentunya akan merusak keseimbangan alam di permukaan bumi. Hal ini dapat terlihat dari berubahnya iklim permukaan bumi yang semakin tidak menentu. Curah hujan di beberapa daerah menjadi jauh lebih intens dan tidak bersahabat, sedangkan daerah lain mengalami kemarau yang lebih panjang. Kebakaran hutan menjadi lebih sering dikarenakan suhu yang lebih tinggi.

Pemanasan global memiliki sebab utama, yaitu tingginya emisi CO_2 yang dibuang ke atmosfer bumi. Sumber utama emisi CO_2 dapat berasal dari emisi kendaraan, industri, agrikultur, atau sebab yang lain. Pengurangan emisi buangan CO_2 menjadi sangat penting untuk mencegah bencana alam masif yang diakibatkan oleh rusaknya ekosistem alam.

Untuk mengurangi emisi CO_2 di atmosfer, dapat digunakan energi biogas yang lebih ramah lingkungan karena menghasilkan emisi CO_2 yang lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Salah satu tantangan dari penggunaan biogas ini adalah pembersihan biogas dari pengotor sehingga dapat digunakan dengan baik dan mencari skala ekonomis agar bigoas dapat digunakan secara masal baik oleh masyarakat umum

sebagai bahan bakar kendaraan ataupun untuk keperluan energi industri.

Masalah yang penting lain yang mengenai lingkungan alam adalah banyaknya limbah B3 yang dihasilkan oleh industri. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2001, limbah B3 adlaah jenis bahan yang baik karena sifat, konsentrasi, atau jumlahnya,dapat mencemarkan atau merusak lingkungan hidup, kesehatan, dan kelangsungan hidup manusia dan/atau makhluk hidup lainnya. Salah satu penghasil limbah B3 adalah industri baja dengan limbah *steel slag*-nya. *Steel slag* termasuk dalam kategori ini karena memiliki kandungan logam berat sehingga perlu pengolahan lebih lanjut sebelum dapat dibuang ke lingkungan.

Pengolahan limbah *steel slag* dengan purifikasi biogas ini merupakan solusi yang dapat dilakukan untuk menyelesaikan 2 masalah sekaligus, yaitu pengolahan *steel slag* agar tidak mencemari lingkungan dan purifikasi biogas untuk meningkatkan kualitas biogas yang dihasilkan oleh PT. Enero. Dengan proses ini, potensi ekonomis tinggi karena dapat dihasilkan biogas berkualitas tinggi dan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) yang bernilai tinggi dan dapat digunakan sebagai *filler* dan *coating* untuk industri *pulp&paper* dan lebih luas lagi dapat digunakan untuk industri farmasi dan industri lain-lainnya.

Industri baja merupakan salah satu industri pengolahan logam terbesar di Indonesia.Industri baja Indonesia sendiri memiliki pertumbuhan sebesar 6-7% pada tahun 2018, lebih baik daripada pertumbuhan ekonomi nasional (5,17%). Hal ini dipengaruhi oleh kenaikan permintaan pasar, baik pada sektor baja hulu maupun baja hilir, terutama dari sektor infrastruktur dan konstruksi. Kebijakan pemerintah pada periode baru yang menggalakkan pembangunan infrastruktur dapat meningkatkan

industri baja nasional baik dari segi keekonomian maupun kapasitas produksi.

I.2 Produksi Bahan Baku

Industri baja menghasilkan produk samping berupa *steel slag* yang menyebabkan pencemaran lingkungan. *Steel slag* adalah produk limbah padat dari proses pembuatan baja dan menyumbang sekitar 15-20% dari baja mentah (Han et al, 2015). *Steel slag* yang digunakan berasal dari PT Krakatau Steel yang berlokasi di Cilegon. PT Krakatau Steel memproduksi tiga produk akhir, yaitu *hot rolled coil*, *cold rolled coil* dan *wire rod*. Perusahaan ini memiliki tujuh fasilitas produksi, yaitu:

1. Pabrik Besi Spons (Direct Reduction Plant)
2. Pabrik Billet Baja (Billet Steel Plant)
3. Pabrik Baja Slab I (Slab Steel Plant I)
4. Pabrik Baja Slab II (Slab Steel Plant II)
5. Pabrik Pengerolan Canai Panas (Hot Strip Mill)
6. Pabrik Pengerolan Canai Dingin (Cold Rolling Mill)
7. Pabrik Batang Kawat (Wire Rod Mill)

Tabel I.1 Kapasitas Produksi Baja PT Krakatau Steel

No	Unit Produksi	Kapasitas (MT/Tahun)	Produk
1	Pabrik Besi Spons	2.000.000	Besi Sponge
2	Pabrik Billet Baja	600.000	Baja Billet
3	Pabrik Baja Slab I & II	2.000.000	Baja Slab
4	Pabrik Pengerolan Canai Panas	2.400.000	Baja Lembaran Panas (Coil &

			Plates)
5	Pabrik Pengerolan Canai Dingin	950.000	Baja Lembaran Canai Dingin (Coil & Sheets)
6	Pabrik Batang Kawat	450.000	Baja Batang Kawat (Coil)

Dalam satu tahun, baja yang diproduksi oleh PT Krakatau Steel, Tbk. mencapai ±2 juta ton. Perseroan juga memiliki rencana untuk menambah kapasitas produksi baja menjadi ± 3 juta ton per tahun. Hal ini dapat menimbulkan masalah apabila limbah *steel slag* dari produksi tersebut tidak diolah dengan baik.

Tabel I.2 Kapasitas Produksi Baja PT Krakatau Steel Setiap Tahun

Tahun	Kapasitas Produksi Baja (ton/tahun)
2014	2.212.684
2015	1.793.482
2016	2.017.237
2017	1.689.324
2018	2.034.399

Setiap ton produksi baja menghasilkan 20% limbah slag, sehingga slag yang dihasilkan oleh PT Krakatau Steel yaitu ±400.000 MT/tahun.

Di Indonesia, limbah yang dihasilkan industri baja dikategorikan sebagai limbah B3. Maka dari itu, limbah baja perlu dimanfaatkan lebih lanjut menjadi produk yang bernilai. *Steel slag* mengandung komponen CaO yang dapat bereaksi

dengan CO_2 membentuk *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). 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 dilakukan dengan ekstraksi kandungan Ca dalam *steel slag*, selanjutnya dialiri gas CO_2 sampai pH mendekati netral membentuk endapan yaitu PCC. (Wahyudi, Djoko dkk, 2012)

Dalam hal ini digunakan CO_2 yang terkandung dalam biogas. Secara definisi, biogas merupakan gas yang muncul secara alami sebagai akibat dari pemecahan materi organik oleh bakteri. Berbeda dengan gas alam (*natural gas*), biogas merupakan sumber energi terbarukan yang diproduksi dengan pencernaan anaerobik dan bukan melalui proses geologis seperti pada bahan bakar fossil (Badurek, 2019).

Biogas banyak mengandung pengotor sehingga mempengaruhi karateristik dari biogas tersebut. Jika biogas dibersihkan dari pengotor secara baik akan memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam. Komponen pengotor berupa asam sulfida (H_2S) dan karbondioksida (CO_2) dan beberapa partikulat harus dihilangkan agar biogas dapat digunakan pada *gas engine*.

Karbondioksida memiliki presentase terbesar di antara pengotor-pengotor lain di dalam biogas. Karbondioksida 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. Selain CO_2, H_2S juga harus dihilangkan karena H_2S bersifat korosif dan dapat merusak mesin.

Oleh karena itu, pembuatan 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.

Biogas yang diperoleh berasal dari PT Energi Agro Nusantara. PT. Energi Agro Nusantara (Enero) adalah sebuah perusahaan pengasil *anhydrous* etanol dengan kadar 99,5% sebagai bahan campuran untuk bahan bakar. Perusahaan ini berlokasi di desa Gempolkrep kecamatan Gedeg kabupaten Mojokerto yang berada dekat dengan kawasan Pabrik Gula Gempolkrep. Perusahaan ini merupakan anak perusahaan PT Perkebunan Nusantara X (Persero).

PT Energi Agro Nusantara menghasilkan limbah kurang lebih 1000 m^3 per hari. Sehingga total load tiap hari yang diolah *anaerobic digester* mencapai 100.000 kg/hari. Dengan jumlah organik tersebut maka konversi biogas yang dihasilkan mencapai 1.000 m^3 per jam atau 24.000 m^3 per hari. Biogas yang dihasilkan mengandung 68% CH_4, 31% CO_2 dan 1% H_2S. Namun, karena komposisi CH_4 yang masih rendah, diperlukan purifikasi agar dihasilkan biomethane yang dapat dimanfaatkan.

I.3 Aspek Marketing

Produk dari pabrik yang dibuat adalah *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dan *biomethane.* Berikut adalah daftar harga dari produk yang dihasilkan

Tabel I.3 Harga Produk PCC dan Biomethane

Produk	Harga

PCC	US$ 350/ton
Biomethane	US$ 50/m^3

Di Jawa Timur, PCC banyak digunakan sebagai *filler* dan *coating* kertas. Industri kertas Jawa Timur sendiri menyumbang sebanyak 40% kebutuhan nasional sehingga PCC yang dihasilkan dapat dijual ke pabrik kertas di Jawa Timur. Berikut adalah daftar perusahaan pabrik kertas (*pulp&paper*) di Jawa Timur:

Tabel I.4 Daftar Perusahaan Pabrik Kertas di Jawa Timur

Pabrik Kertas	Lokasi
PT Suparma, Tbk	Surabaya
PT Pabrik Kertas Tjiwi Kimia, Tbk	Mojokerto
PT Pabrik Kertas Basuki Rahmat	Banyuwangi
PT Pabrik Kertas Indonesia	Mojokerto
PT Kertas Leces	Probolinggo

Produk *compressed biomethane gas* yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar kendaraan. PT Perusahaan Gas Negara, Tbk. (PGN) merupakan perusahaan yang menghasilkan dan mendistribusikan bahan bakar gas di seluruh Indonesia. Di daerah Jawa Timur, PGN memiliki 4 Stasiun Pengisian Bahan Bakar Gas (SPBG) yang berlokasi di Surabaya, Jawa Timur.

I.4 Prospek

Limbah *steel slag* adalah limbah dari produksi baja yang kaya akan kandungan CaO (45%) dan dapat menimbulkan masalah apabila tidak diolah secara tepat karena kandungan

logamnya yang tinggi. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk pemanfaatan limbah ini, dan sebagian besar dari penelitian banyak diarahkan menuju produksi bahan bangunan sebagai pengganti/*filler* semen. Sampai saat ini, mayoritas penggunaan *steel slag* banyak digunakan untuk produksi semen. Pemanfaatan ini dinilai belum optimal karena bisa dihasilkan produk PCC dengan nilai jual yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan bahan bangunan.

Produksi biogas dari PT Enero selama ini adalah limbah dari produks ethanol. Selama ini, pemanfaatan limbah biogas belum optimal karena masih memiliki banyak pengotor. Bila pengotor ini dibersihkan dan dapat dihasilkan *biomethane* dengan kemurnian yang tinggi maka, hasil limbah ini dapat memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi. *Biomethane* ini dapat digunakan untuk pembangkit listrik dan untuk bahan bakar kendaraan.

Bila dikaitkan dengan data produksi *steel slag* dari PT Krakatau Steel, Tbk. dan potensi industri baja ke depannya yang dibantu dengan meningkatnya proyek infrastruktur dan pembangunan yang dicanangkan oleh Pemerintah Indonesia, maka pengolahan *steel slag* untuk produksi PCC dapat dipandang memiliki potensi yang sangat besar secara ekonomis. Selain itu, seiring dengan meningkatnya *demand* akan energi dan meningkatnya kesadaran masyarakat akan kebutuhan akan energi yang menghasilkan polusi lebih rendah, maka *demand* akan produk *biomethane* akan meningkat juga. Selama ini, masyarakat yang menginginkan energi yang lebih bersih masih mengalami kesulitan dalam mencari alternatif lain dalam pemilihan bahan bakar karena penjualan bahan bakar didominasi oleh jenis bahan bakar fosil dengan dampak yang lebih buruk babgi lingkungan. Diharapkan *biomethane* hasil produksi ini dapat membantu masyarakat dan pihak industri dalam mencari alternatif pilihan

baru bila ingin mencari sumber energi yang lebih ramah lingkungan.

I.5 Penggunaan Produk

Dengan pemurnian kandungan CO_2 dan H_2S, maka *biomethane* dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan. Dengan jumlah 138 juta kendaraan (BPS, 2017) di Indonesia pada 2017, maka prospek bisnis ini cukup menjanjikan. Selain itu, dengan kapasitas produksi *pulp* Indonesia yang mencapai 11 juta ton dan kapasitas produksi kertas Indonesia yang mencapai 16 juta ton (Media Kontan, 2019) maka produksi PCC ini juga memiliki masa depan yang bagus.

BAB II

BASIS DESAIN DATA

II.1 Kapasitas

PT Energi Agro Nusantara menghasilkan biogas sebesar 7.920.000 m^3/tahun (8.290 ton/tahun). Maka kapasitas produksi pabrik purifikasi biogas menjadi *biomethane* menggunakan basis data sebagai berikut:

- Waktu Operasi: 330 hari kerja/tahun
- Waktu Kerja: 24 jam/hari
- Jumlah biogas terolah: 7.920.000 m^3/tahun
- Jumlah steel slag terolah: 44.067 ton/tahun
- Ketersediaan bahan baku steel slag: 476.665 ton/tahun
- Kapasitas produksi PCC: 13.471 ton/tahun
- Kapasitas produksi biogas: 3.591 ton/tahun

II.2 Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik dapat memengaruhi kelangsungan hidup industri tersebut terutama pada masa mendatang. Hal ini disebabkan lokasi akan berpengaruh terhadap untung ruginya pendirian pabrik sehingga faktor ekonomis pendirian pabrik perlu dipikirkan secara matang. Faktor ekonomis yang perlu diperhitungkan dalam pemilihan lokasi adalah ketersediaan bahan baku, ketersediaan tenaga kerja, dan faktor-faktor lainnya. Untuk pengolahan limbah biogas, lokasi yang baik adalah dekat dengan sumber biogas sehingga tidak memakan biaya banyak dalam transportasi gas dengan instalasi pipa bawah tanah.

Berikut ini adalah basis data desain pabrik pembangkit energi dari ampas tebu yang direncanakan akan didirikan di

Kelurahan Gempolkerep, Kecamatan Gedeg, Kota Mojokerto, Jawa Timur memiliki luas wilayah 94,155 Ha. Berdasarkan data dari *weather.com*, daerah ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

- **Suhu** : 25 - 35 ^{o}C
- **Kelembaban** : 42% - 82%
- **Curah Hujan** : 9 – 7.187 mm/tahun
- **Kecepatan Angin** : 3 - 9 km/jam
- **Utilitas Pendukung** : Sungai Brantas
- **Garis Lintang** : 7º18'-7º47' LS & 111º20'-111º40' BT

Lokasi pabrik akan didirikan berdekatan dengan PT Energi Agro Nusantara sebagai pemasok utama bahan baku biogas. PT Energi Agro Nusantara terletak di Desa Gempolkrep, Kecamatan Gedeg Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur yang berada dekat dengan kawasan Pabrik Gula Gempolkrep. Indikator utama dalam pemilihan lokasi ini adalah

1. Bahan Baku
   Pabrik pengolahan biogas akan didirikan di sekitar area PT Energi Agro Nusantara sehingga memudahkan distribusi bahan baku biogas.
2. Lokasi
   PT Energi Agro Nusantara terletak di Provinsi Jawa Timur yang berdekatan dengan industri kertas sehingga memudahkan distribusi penjualan produk ke industry-industri yang berada di Jawa Timur.

II.3 Kualitas Bahan Baku dan Produk

II.3.1 Bahan Baku

II.3.1.1 Steel Slag

Steel slag digunakan sebagai bahan baku dalam pemurnian biogas. Karakteristik dari bahan baku steel slag yang digunakan adalah sebagai berikut:

- pH = 10
- Ukuran = 3 mm

Tabel II.1 Komposisi Kimia Steel Slag

Komponen	Konsentrasi (%berat)
CaO	45,2
Fe_2O_3	1,34
SiO_2	34,8
MgO	0,99
Al_2O_3	14,79
K_2O	0,38
Na_2O	0,22
TiO_2	0,55
SO_3	1,74

(www.krakatausemenindonesia.com)

Tabel II.2 Karakteristik Steel Slag

Karakteristik	Uji
Explosive	Tidak mudah meledak
Flammable	Tidak mudah terbakar
Bereaksi dengan air	Negatif
Test H_2S	Positif
Test CN	Negatif
Physical dan Color Forming	Negatif
Corrosive (pH≤2.5 atau pH≥12.5)	10 (tidak korosif)

II.3.1.1.1. CaO

Berat Molekul	56,08 g/mol

Densitas	3,34 g/cm^3
Titik Leleh	2500°C
Titik Didih	2850°C

II.3.1.1.2. SiO_2

Berat Molekul	60,084 g/mol
Densitas	2,2 g/cm^3
Titik Leleh	1710°C
Titik Didih	2230°C
Kelarutan	Tidak larut dalam air

II.3.1.1.3. MgO

Berat Molekul	40,305 g/mol
Densitas	3,58
Titik Leleh	2800°C
Titik Didih	3600°C
Kelarutan	Tidak larut dalam air Tidak larut dalam ethanol Larut dalam asam dan ammonium salt

II.3.1.1.4. Al_2O_3

Berat Molekul	101,961 g/mol
Densitas	3,97 g/cm^3
Titik Leleh	2054°C
Titik Didih	3000°C
Kelarutan	Tidak larut dalam air

II.3.1.1.5. Na_2O

Berat Molekul	61,98 g/mol
Densitas	2,3 g/cm^3

Titik Leleh	1275°C
Titik Didih	1950^{0}C
Kelarutan	**L**arut dalam air

II.3.1.1.6. TiO_2

Berat Molekul	79,87 g/mol
Densitas	4,23 g/cm^3
Titik Didih	2500-3000°C
Titik Leleh	1855°C
Kelarutan	- Tidak larut dalam air dan pelarut organic - Larut dalam basa - Larut dalam asam sulfat, asam hidroklorida asam nitrat

II.3.1.1.7. SO_3

Berat Molekul	80,07 g/mol
Densitas	0,62 g/cm^3
Titik Leleh	16,8^{o}C
Titik Didih	44,5^{o}C

II.3.1.1.8. Fe_2O_3

Berat Molekul	159,69 g/mol
Densitas	5,25 g/cm^3
Titik Leleh	1565°C
Kelarutan	Tidak larut dalam air

II.3.1.1.9. K_2O

Berat Molekul	94,196 g/mol
Densitas	2,3 g/cm^3
Titik Leleh	740°C
Kelarutan	Larut dalam air

II.3.1.2 Biogas

Karakteristik dari biogas PT Energi Agro Nusantara adalah sebagai berikut:

- P = 1 atm
- T = 0^0C
- Flowrate = 1.000 Nm^3/jam

Komposisi biogas yang berasal dari PT Energi Agro Nusantara yaitu sebagai berikut:

Komponen	Konsentrasi
CH_4	61%
CO_2	38%
H_2S	1%

(https://enero.co.id)

II.3.1.3 NH_4Cl

Berat Molekul	53,49 g/mol
Specific Gravity	1,53
Titik Lebur	350^oC
Titik Didih	520^oC

II.3.1.4 Soil Laterite

Soil laterite digunakan sebagai adsorber dalam menyerap kandungan H2S dalam biogas. Soil laterite yang digunakan berasal dari Halmahera. Komposisi soil laterite yang digunakan yaitu:

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

Adapun rincian komponen solidnya adalah sebagai berikut :

Komponen solid	Komposisi (% massa)
FeO	86,55
Al_2O_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 Gas Metana (CH_4)

Pabrik purifikasi biogas ini akan menghasilkan gas metana dengan karakteristik sebagai berikut:

Sifat fisika dari gas CH_4

- 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:

CH_4 = 96%

CO_2 = 3,7%
H_2O = 0,3%

II.3.2.2 PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*) ($CaCO_3$)

- Berat molekul (g/mol) = 100
- Titik Lebur (°C) = 825
- *Bulk Density* (g/cm^3) = 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
- $CaCO_3$ (%) = 97,5
- H2O (%) = 0,2
- NH_4Cl (%) = 0,15
- SiO_2 (%) = 1
- CaO (%) = 0,77
- Fe_2O_3 (%) = 0,04
- MgO (%) = 0,0286
- Al_2O_3(%) = 0,427
- K_2O(%)= 0,011
- Na_2O (%) = 0,006

BAB III
SELEKSI DAN URAIAN PROSES

III.1. Macam-macam Proses

III.1.1 Proses *Pre-Treatment Steel Slag*

Steel slag dalam pabrik ini digunakan sebagai bahan baku sekunder yang memiliki komponen utama berupa CaO yang akan digunakan untuk karbonasi pada proses purifikasi biomethane. Namun, kadar CaO dalam *steel slag* hanya sekitar 45-50% sedangkan sisanya berupa *impurities*. Sehingga diperlukan adanya *pre-treatment* untuk steel slag agar didapatkan kandungan kalsium. Kelebihan dan kekurangan dari berbagai metode pengolahan tersebut dapat dilihat pada **Tabel III.1**

Tabel III.1 Kelebihan dan Kekurangan Metode dalam *Pre-Treatment Steel Slag*

Metode Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
Kalsinasi	Tidak menggunakan *chemical solvent* untuk mendapatkan CaO dari *steel slag* sehingga tidak perlu alat untuk pembuangan residu.	Proses cukup rumit dan mahal dibandingkan dengan metode pengolahan lainnya, terutama pada alat serta konsumsi energi yang besar untuk *calciner*. Selain itu, diperlukan adanya CO_2 murni untuk membentuk $CaCO_3$ yang akan dipakai untuk kalsinasi dan juga masih terdapat impuritis yg ikut bereaksi dengan CO_2 sehingga yang terbentuk tidak hanya $CaCO_3$.

Ekstraksi	Dapat menghasilkan *high purity* CaO dan menghilangkan semua *impurities* yang ada pada *steel slag* sehingga yang tersisa hanya CaO	Menggunakan *chemical solvent* yang direaksikan dengan *steel slag* serta proses yang dijalankan lebih mahal dibanding metode slaking namun lebih murah dibandingkan metode kalsinasi.
Slaking	Proses yang dijalankan murah karena hanya menggunakan *vessel* sebagai *slaker* serta H_2O untuk merubah *steel slag* menjadi *slurry* Ca(OH)	Masih terdapat *impurities* lainnya yang ikut bercampur dengan H_2O

Bedasarkan harga alat untuk pre-treatment steel slag dan tingkat kemurnian CaO yang dihasilkan, maka metode pengolahan ekstraksi memiliki keuntungan yang lebih besar dibanding metode yang lainnya karena mampu menghasilkan high purity CaO dan mampu menghilangkan kandungan *impurities* yang ada pada steel slag. Metode ekstraksi pada pengolahannya membutuhkan *chemical solvent* untuk dapat melarutkan kandungan CaO pada steel slag. Kelebihan dan kekurangan *chemical solvent* yang digunakan pada metode ekstraksi dapat dilihat pada **Tabel III.2**

Tabel III.2 Kelebihan dan Kekurangan Chemical Solvent yang digunakan untuk
Metode Ekstraksi

Chemical Solvent	**Kelebihan**	**Kekurangan**

NH_4Cl	Mampu mengekstrak CaO sebesar 70%. Pada suhu 60 derajat celcius yang larut pada NH_4CL hanya CaO. Tersedia dalam harga yang murahset. Setelah proses karbonasi dihasilkan NH_4Cl yang dapat direcycle dan dapat digunakan kembali untuk ekstraksi CaO	Tidak seluruh kandungan CaO dalam *steel slag* mampu teresktraksi sehingga sebagian CaO akan menjadi residu.
CH_3COOH	Mampu mengekstrak seluruh kandungan CaO dalam steel slag.	Masih adanya impuritis pada steel slag seperti MgO, SiO_2 dan Al_2O_3 yang larut pada CH_3COOH sehingga memerlukan adanya hidroksida untuk menghilangkan impuritis tersebut. Selain itu, proses yang dijalankan relative mahal karena setelah metode karbonasi CH_3COOH yang dihasilkan tidak dapat direcycle

Berdasarkan kadar CaO yang terekstraksi, maka NH_4Cl yang akan digunakan sebagai chemical solvent pada metode ekstraksi. Impuritis lain yang tidak larut dalam NH_4Cl dikeluarkan melalui proses separasi dan akan ditreatment lebih lanjut. Selain itu, NH_4Cl yang digunakan untuk ekstraksi tidak hanya fresh solvent karena disupply dari NH_4Cl hasil reaksi pada proses karbonasi yang akan di recycle dan digunakan ulang untuk tahapan ekstraksi sehingga mampu menghemat biaya untuk pembelian NH_4Cl

III.1.2 Proses Purifikasi Biogas

Macam-macam proses purifikasi biogas dapat dibedakan sebagai berikut :

III.1.2.1 Proses *H_2S Removal*

Kadar H_2S dalam biogas masih memiliki kadar 1%. Meski dalam jumlah kecil, H_2S perlu dihilangkan karena memiliki sifat korosif terhadap logam yang nantinya akan merusak pipa, pompa, dan mesin dan mereka juga mampu menimbulkn masalah lingkungan karena akan terkonversi menjadi sulfur dioksida (SO_2) dan asam sulfat (H_2SO_4) yang dapaat menimbulkan hujan asam. Beberapa metode dalam menghilangkan kandungan H_2S dalam biomethane serta kelebihan dan kekurangannya dapat dilihat pada **Tabel III.3**

Tabel III.3 Metode H_2S removal pada Biomethane

Metode	Penjelasan	Kelebihan	Kekurangan
Wet Scrubber	*Scrubber* yang digunakan adalah H_2O, dimana biogas yang mengandung H_2S di *spray* dengan air menggunakan *nozzle* yang ditempatkan pada bagian tengah atas dimana inlet gas masuk dibuat pada posisi tangensial terhadap *silinder scrubber*. Hal ini mengakibatkan gas yang mengalir bertambah kecepatan alirannya.	Memiliki efisiensi 95% untuk partikel yang lebih besar dari 5µm.	Membutuhkan waktu yang cukup lama agar H_2S terserap sempurna. Harga alat mahal.
Adsorber (dengan	Penyerapan H_2S dari Biogas dilakukan dengan	Mampu menyerap 99% H_2S yang	Menghasilkan limbah baru

Soil Laterite)	sistem adsorbsi dimana menggunakan *Soil laterite* sebagai adsorber untuk penyerapan H_2S. Adsorber bekerja menyerap H_2S menggunakan beberapa metode diantaranya active carbon, zeolit, dan pressure swing adsorbtion	ada dalam biogas. Kemudian, harga tanah laterit hanya sekitar Rp 8000,00 /5kg dimana lebih murah dibanding adsorber lain, seperti karbon aktif dan zeolite. Persediaan tanah laterite di Indonesia melimpah sebesar 1,5MT	yang berasal dari adanya adsorber jenuh (soil laterite yang telah menyerap H_2S)
Absorben (Fe_2O_3)	Absorbsi H_2S menggunakan Fe_2O_3 sehingga dihasilkan reaksi sebagai berikut : $Fe_2O_3+3H_2S \rightarrow Fe_2S_3+3H_2O$. Absorbsi tersebut dilakukan menggunakan kolom absorbsi Biogas yang mengandung H_2S di spray lalu dikontakan dengan Fe_2O_3 yang masuk.	Metode yang sederhana, karena hanya mengontakkan H_2S dengan Fe_2O_3. Memiliki efficiency removal sebesar 99% .	Sensitif terhadap air, biaya operasional yang mahal karena Fe_2O_3 perlu adanya pre-treatment sebelum digunakan

$FeCl_2$, $FeCl_3$, dan $FeSO_4$ *Dosing*	Metode ini dilakukan dengan menambahkan senyawa $FeCl_2$, $FeCl_3$, dan $FeSO_4$ ke dalam tangki pereaksi. Akan terjadi reaksi seperti berikut: $Fe^{2+} + S^{2-} \rightarrow FeS$	Metode yang sederhana, *byproduct* FeS dapat digunakan sebagai pupuk	Hanya mampu untuk menghilangkan H2S hingga pada kadar 100-200 ppm, yang mana tidak cukup rendah untuk keperluan industri atau sebagai bahan bakar transportasi.
Filtrasi Biologis	Filtrasi dengan menggunakan bakteri dengan jenis *lithautotroph* dan bantuan gas O_2 atau NO_3 untuk menguraikan H_2S. Reaksi yang terbentuk dengan gas O2 adalah: $H_2S+0.5O_2 \rightarrow S+H_2O$ $H_2S+2O \rightarrow SO^{2-} +2H^+$ Sedangkan reaksi yang terbentuk dengan gas NO_3 adalah: $3H_2S+NO_3 \leftarrow 3S+0.5N_2 +3H_2O$ $3H_2S+4NO_3^- \rightarrow 3SO^{2-} +2N_2+6H^+$	Efisien dari segi biaya dan mudah dalam mengontrol berbagai variabel seperti: pH, suhu, dan nutrisi bakteri	Hanya mampu untuk menghilangkan H2S hingga pada kadar 50-100 ppm, yang mana tidak cukup rendah untuk keperluan industri atau sebagai bahan bakar transportasi.

Berdasarkan tingkat efisiensi removal terhadap H_2S serta biaya operasional, maka metode H_2S *removal* yang paling efektif dan efisien adalah menggunakan *soil laterite*. *Soil laterite* mampu menyerap 100% H_2S dalam biogas sehingga nantinya akan menaikkan kadar CH_4 dalam biogas . Di era ini, soil laterite juga masih jarang dalam penggunaanya untuk menghilangkan H_2S, sehingga kami ingin memberikan inovasi baru berupa adsorber baru pengganti zeolite dan aktif karbon.

III.1.2.2 Proses *CO2 Removal*

CO_2 *Removal* penting untuk meningkatkan kemurnian CH_4 dalam biogas agar biogas memiliki kualitas yang semakin bagus. Kandungan CO_2 awal adalah ±38%, sedangkan kandungan maksimum CO_2 yang diperbolehkan untuk penggunaan biogas seacara komersial adalah sebesar ±4%. Teknologi yang tersedia saat ini adalah: adsorpsi *pressure swing*, absorbsi fisik (air dan scrubbing pelarut organik), penyerapan kimia, pemisahan kriogenik, pemisahan membran, pengayaan metana secara biologis.

III.1.2.2.1 Absorbsi Fisik (*Water Scrubbing* dan *Organic Solvent Scrubbing*)

Proses *Scrubbing* didasarkan pada perbedaan kelarutan dari berbagai komponen gas dalam larutan *scrubber*. Komponen gas yang diserap akan terikat pada *scrubbing liquid*. Pada kasus ini air adalah penyerap selektif dan banyak digunakan untuk *scrubbing* biogas pada skala industri, dengan persentase sebesar 41% dari pangsa pasar biogas global karena sifatnya yang tidak terlalu sensitif terhadap *impurities* yang terdapat dalam biogas.

Pada suhu 25°C, kelarutan CH_4 26 kali lebih rendah daripada CO_2 sehingga proses ini cocok untuk digunakan untuk menghilangkan CO_2 dari kandungan gas. Juga menurut Persson et al., perbedaan kekuatan ikat dari CO_2 yang lebih polar daripada H_2S dan metana non-polar digunakan untuk memisahkan senyawa-senyawa ini. Oleh karena itu, dalam proses ini H_2S dapat dihilangkan bersama dengan CO_2 pada prinsipnya karena kelarutan H_2S dalam air lebih tinggi daripada CO_2. Namun disarankan untuk memisahkan H_2S sebelum penghilangan CO_2 karena H_2S terlarut sangat korosif. *Scrubbing* biogas dilakukan dalam *packed column* dengan *Pall* atau *Raschig Ring* untuk mendukung perpindahan massa gas-cair yang efisien, dalam arus berlawanan (gas terkompresi pada 6-10 bar bagian bawah dan tekanan air dari atas). Air yang telah dipakai diregenerasi dalam kolom desorpsi dengan udara atau uap yang akan melepaskan CO_2 dari air pada saat tekanan diturunkan. Konsumsi energi adalah untuk kompresi gas, pompa sirkulasi ulang dan penggantian air. Pembersihan air yang konstan diperlukan untuk menghindari keracunan dan pengotoran H_2S.

Pelarut organik seperti metanol dan eter dimetil dari polietilen glikol (DMPEG) dapat digunakan dalam *removal* CO_2. Pelarut secara bersamaan dapat menyerap CO_2, H_2S dan H_2O karena mereka memiliki kelarutan yang lebih tinggi dalam polietilen glikol daripada CH_4. Proses *scrubbing* dan regenerasi sama dengan pelarut air. Nama dagang untuk pelarut adalah Selexol® dan Genosorb® dan mereka menunjukkan afinitas yang lebih tinggi untuk CO_2 dan H_2S daripada air sebanyak lima kali, terutama Selexol®, yang merupakan campuran eter dimetil dari polietilen glikol. Akibatnya, volume serapan yang lebih kecil diperlukan dengan ukuran yang kompak dan sedikit pemompaan dengan jumlah biogas yang sama, sehingga mengurangi biaya

investasi dan operasi. Menurut Bauer et al. dan Sun et al., kandungan biometana yang konsisten sebesar 96 - 98,5% dan kehilangan metana kurang dari 2%, dapat dicapai dalam pabrik skala penuh yang dioptimalkan, dengan konsumsi energi yang sama seperti penggosok air.

III.1.2.2.2 Absorbsi Kimia

Metode ini bekerja dengan cara yang sama seperti *scrubber* air / glikol untuk prinsip perpindahan massa biogas-cair, tetapi terdapat reaksi kimia antara bahan pelarut dan zat yang diserap. Ini bergantung pada penyerap reaktif CO_2 seperti alkanol amina (mono ethanol amine (MEA)) atau di-methyl ethanol amine (DMEA), dan larutan berair alkali seperti KOH, K_2CO_3, NaOH, $Fe(OH)_3$, $FeCl_2$. Unit ini terdiri dari *bed* yang dikemas (acak atau struktural) ditambah dengan unit desorpsi yang dilengkapi dengan reboiler untuk menyederhanakan konfigurasi proses, tanpa risiko pertumbuhan biomassa sebagai hasil pH larutan amina yang tinggi. Larutan amina banyak digunakan untuk menyerap CO_2 dan ada sedikit atau tidak ada kehilangan metana (0,1-1,2%), dengan pemulihan metana lebih besar dari 99% karena pelarut kimia bereaksi secara selektif dengan CO_2. Ini juga dioperasikan seperti konfigurasi aliran berlawanan arus scrubbing air, dan H_2S harus diperlakukan sebelum scrubbing kimia karena keracunan amina. Regenerasi biasanya dilakukan dengan uap atau panas dan dapat dilakukan *recovery* CO_2 dengan kemurnian 93%. Meskipun efisiensi penghilangan CO_2 yang tinggi, patut dicatat bahwa konsumsi energi juga relatif tinggi (panas regenerasi tinggi), diikuti dengan adanya kemungkinan presipitasi garam dalam alat ditambah dengan *poisoning* amina dan bahan kimia lainnya.

III.1.2.2.3 Pressure Swing Adsorption (PSA)

Proses ini berlangsung dalam kolom vertikal yang diisi dengan absorben dan diproses dengan urutan adsorpsi, penurunan tekanan, desorpsi , dan penambahan tekanan, dan regenerasi material *molecular sieve*. Dalam kolom bertekanan, CO_2 diserap saat gas yang kaya metana mengalir. Adsorben yang paling umum digunakan adalah zeolit, karbon aktif, karbon aktif, silika gel dan resin sintetis. Ini dapat digunakan untuk memisahkan CO_2, N_2, O2, dan H_2S dari aliran gas dengan secara selektif mengadsorpsi CO_2 dan gas lainnya dari aliran gas utama CH_4 ke dalam adsorben berpori karena molekul CH_4 lebih besar daripada molekul gas lainnya. Juga disarankan untuk mengeringkan (mendinginkan) gas dan juga menghilangkan H_2S sebelum adsorpsi CO_2 karena H_2S akan teradsorpsi secara ireversibel ke dalam *molecular sieve*.

Setelah jenuh dengan CO_2, biogas mengalir ke kolom baru, sedangkan kolom yang jenuh CO_2 secara bertahap ditekan (hampir tekanan atmosfer), untuk melepaskan campuran CO_2 / CH_4 dengan kandungan metana yang tinggi yang tekanannya vakum dan di recycle kembali ke saluran masuk PSA. Menurut Bauer et al., beberapa kolom dihubungkan bersama untuk menciptakan operasi yang berkelanjutan dan untuk mengurangi kebutuhan energi untuk kompresi gas. Tingkat pemulihan CH_4 dari 96-98%, dengan 2-4% kehilangan metana telah diperoleh. *Off-gas* harus diolah (dibakar dalam pembakar) untuk menghindari pelepasan metana ke atmosfer, atau digunakan untuk pembakaran.

III.1.2.2.4 Cryogenic Separation of CO2

Metode ini menggunakan perbedaan suhu untuk memisahkan gas. CO_2 memiliki titik didih −78°C, sementara metana -160°C, sehingga pemisahan CO_2 dari biogas dapat dilakukan dengan mendinginkan campuran gas pada tekanan tinggi. Proses ini lebih menguntungkan untuk mengolah gas tanah, untuk produksi CO_2 murni (98%), metode kemurnian tinggi dengan kerugian kurang dari 1% dan dapat digunakan secara langsung untuk kendaraan atau disuntikkan ke jaringan sebagai gas. Konsumsi energi sangat tinggi dengan biogas mentah dikompresi pada 200 bar, yang dapat berjumlah 5-10% dari biometana yang diproduksi.

Terdapat beberapa reaktor yang dapat digunakan untuk proses absorbsi CO_2, yaitu:

1. *Bubble Column Reactor*
2. *Packed Bed*
3. *Fixed Bed*
4. *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*

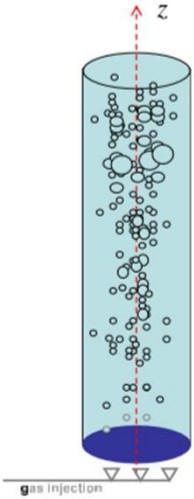
Berikut merupakan penjelasan terkait jenis-jenis reaktor untuk absorpsi gas CO_2:

1. *Bubble Column Reactor*

   Bubble column reactor merupakan jenis reaktor multifasa dengan distributor gas pada bagian bawahnya. Gas dikeluarkan dari bagian bawah dalam bentuk gelembung-gelembung dan dikontakkan secara langsung dengan liquid atau suspensi *liquid-solid*. *Bubble column reactor* biasanya digunakan pada jenis reaksi seperti alkilasi, polimerisasi, hidrogenasi, oksidasi, dan klorinasi atau jenis reaksi di mana terdapat *slurry* pada reaksi yang berlangsung.

   Pada umumnya, bubble column reactor dapat dioperasikan secara optimum saat mode *semi-batch* dan mode kontinu. Pada mode kontinu, aliran gas dan suspensi

mengalir secara *co-current* ke atas bagian reaktor dan suspensi yang keluar dari reaktor dapat diregenerasi. Sedangkan pada mode *semi batch*, suspensi dalam keadaan statis, di mana hanya gas yang mengalir ke atas, sehingga arah aliran *counter-current*. Berikut ini adalah sketsa umum dari *bubble column reactor*:



Gambar III.1 *Bubble Column Reactor*

(Kantarci, dkk.2004)

Bubble column reactor terbagi menjadi dua jenis. Perbedaan tersebut didasarkan oleh tingkat kekompleksan *bubble column reactor* itu sendiri. Jenis yang pertama adalah *bubble column reactor* tanpa sirkulasi di dalamnya dan jenis kedua adalah bubble column reactor dengan reaksi di dalamnya. Pada *bubble column reactor* menggunakan sirkulasi di dalamnya, pasokan gas yang lebih besar dibutuhkan, sehingga aliran gas lebih homogen dan *mixing time* yang diperlukan jauh lebih pendek. Reaktor ini biasanya digunakan pada industri yang berkaitan dengan bioteknologi,

di mana biogas dikelilingi oleh senyawa atau zat dengan komposisi atau konsentrasi yang konstan (stabil).

(Jakobren, 2008)

Kondisi operasi dan reaktor untuk proses purifikasi biogas dengan menggunakan bubble column reactor ditunjukkan pada Tabel III.4 di bawah ini:

Tabel III.4 Kondisi Operasi dan Reaktor untuk Proses Purifikasi Biogas Menggunakan Bubble Column Reactor

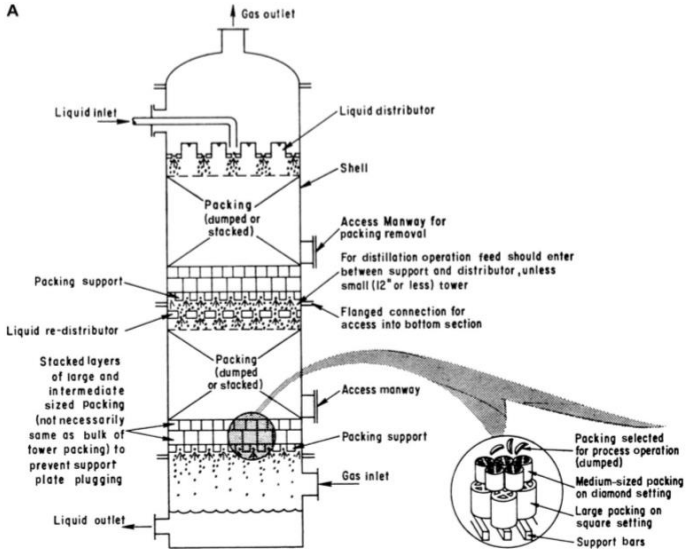
Nama	Deskripsi	Nilai dan Tipe
Sparger	Inner diameter	0,076 m
	Tipe	Airstone, singlet inlet orifice
	Ukuran/diameter pori maksimal	140 mikron/0,64 cm
Kondisi Operasi	Suhu	60°C
	Tekanan	1 atm
	Superficial gas velocity	0,0022 – 0,012 m/s
	Ketinggian effluent	0,066 – 0,48 m
	pH awal	9,8

(Kennedy, et.al. 2015)

2. *Packed Bed Reactor*

Packed bed reactor merupakan reaktor berbentuk silinder yang diisi dengan material packing, seperti *Raschig rings*, *metal rings*, dan keramik. Fungsi *packing* pada *packed bed* adalah untuk meningkatkan kontak antara kedua fasa. Reaktor ini biasanya dilengkapi dengan *manhole* pada bagian inlet reaktor dan *opening* yang bertujuan untuk *loading* dan *unloading material packing*. Pada reaktor ini, *liquid* mengalir melalui *bed* berisi packing dengan memanfaatkan gaya gravitasi dan gas dialirkan dari bagian bawah reaktor.

Berikut merupakan gambaran *packed bed reactor* secara umum:



Gambar III.2 *Packed Bed Reactor*

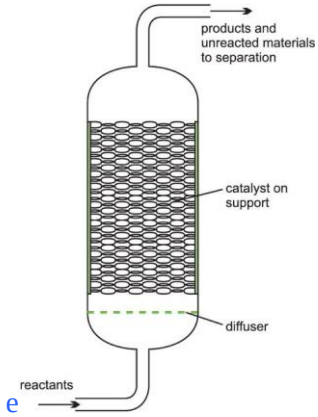
Faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi reaktor tipe ini adalah penyusunan *packing* dan distribusi *liquid* dalam reaktor. Terdapat beberapa tipe penyusunan *packing* yang dapat dilakukan pada reaktor ini, yaitu penyusunan secara acak dengan bentuk dan ukuran *packing* yang berbeda satu sama lain, *packing* terstruktur, dan *grid packing* dengan *pressure drop* yang lebih rendah dan kapasitas lebih tinggi dibandingkan tipe *packing* lainnya, tetapi memiliki efisiensi paling rendah.

Distribusi *liquid* dalam reaktor yang tidak rata akan mengurangi luas efektif *packing* yang berkontak dengan *liquid* dan menyebabkan *liquid channeling*. Reaktor dengan *packing* yang disusun secara acak atau terstruktur akan lebih

sensitif terhadap distribusi *liquid* yang tidak rata atau seragam daripada *tray tower*.

3. *Fixed Bed Reactor*

Fixed bed reactor hampir sama dengan *packed bed*, tetapi material *packing* dalam *bed* berupa *pellet* katalis berbentuk silinder, bola, maupun *random* dengan ukuran 0,1 – 1 cm. Konfigurasi katalis pada reaktor ini bermacam-macam, yaitu dalam bentuk satu *bed* berukuran besar, beberapa bed yang disusun secara *horizontal*, dan beberapa tabung packing yang disusun paralel. Pemilihan konfigurasi ini dipengaruhi oleh kontrol suhu pada sistem. Berikut merupakan gambaran umum *fixed bed reactor*:



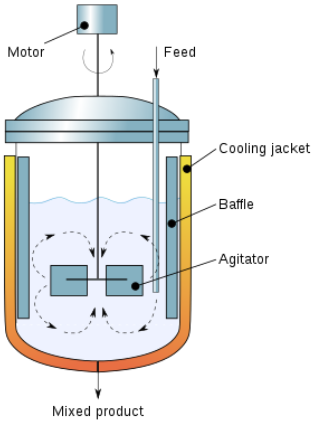
e

Gambar III.3 *Fixed Bed Reactor*

4. *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)

CSTR merupakan salah satu tipe reaktor kontinu yang paling umum digunakan pada proses kimia maupun biologis. CSTR merupakan reaktor dengan sistem terbuka dengan

operasi secara *steady-state* (kondisi dalam reaktor konstan seiring waktu), di mana material dapat dengan mudah masuk dan keluar sistem. Dalam reaktor ini, pengadukan terjadi secara baik karena dilengkapi dengan *agitator*, sehingga material di dalam reaktor memiliki sifat fisik yang sama dan kondisi keluaran sama seperti kondisi di dalam reaktor. CSTR biasanya digunakan untuk mereaksikan liquid hingga homogen. CSTR dapat dipasang secara paralel saat reaksi terjadi terlalu lambat atau ketika terdapat liquid yang *immiscible* atau kental sehingga membutuhkan kecepatan agitasi yang tinggi. Berikut merupakan gambaran umum CSTR:



Gambar III.4 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) (Visual Encyclopedia of Chemical Engineering, xxxx)

Berikut merupakan Tabel III.5 perbandingan jenis-jenis reaktor:

Tabel III.5 Perbandingan Jenis-jenis Reaktor

Jenis Reaktor	Kelebihan	Kekurangan

Bubble Column	-Perpindahan massa dan panas yang lebih baik -Proses perawatan lebih sederhana -Biaya operasi yang relatif rendah karena tidak adanya bagian reaktor yang bergerak -Terbebas dari *plugging*	-Regenerasi pelarut yang digunakan sulit dilakukan, tetapi pada purifikasi biogas ini menghasilkan produk berupa slurry PCC yang dapat dijual
Packed Bed	-Kontak antar fasa lebih baik karena bantuan packing	-Kontrol terhadap suhu sulit dilakukan -Gradien temperatur dapat terjadi -Biaya operasional tinggi -Penyumbatan solid mudah terjadi -Dapat terjadi *channelling* fluida, sehingga efisiensi menurun
Fixed Bed	-Rate konversi tinggi -Produk yang dihasilkan lebih banyak	-Penggantian katalis sulit -Reaksi samping dapat terjadi -Transfer panas menuju atau dari reaktor sulit

		dilakukan -Biaya operasional tinggi
CSTR	-Pengaturan terhadap suhu mudah dilakukan -Biaya konstruksi murah -Reaktor memiliki kapasitas panas yang tinggi	-Konversi paling rendah dibandingkan tipe reaktor lainnya -Zona mati (*dead zone*) dapat terjadi, di mana pencampuran tidak terjadi -Reaktan dapat mengalami *bypass*

III.1.3 Ekstraksi Kandungan Kalsium

III.1.3.1 CSTR

CSTR adalah suatu alat yang berfungsi untuk mencampurkan beberapa komponen padat dan cair secara bersamaan sehingga menghasilkan suatu campuran yang seragam. CSTR memainkan peran yang sangat umum dalam produksi bahan. Sejumlah besar komponen dimasukkan ke dalam tangki ini untuk dicampur bersama menggunakan pencampuran halus.

III.1.4 Proses 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 yaang dirangkum dalam **Tabel III.5**. *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.

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		—diaelectric
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)	

Gambar III.5 Komponen dari Proses Separasi Solid-Liquid

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

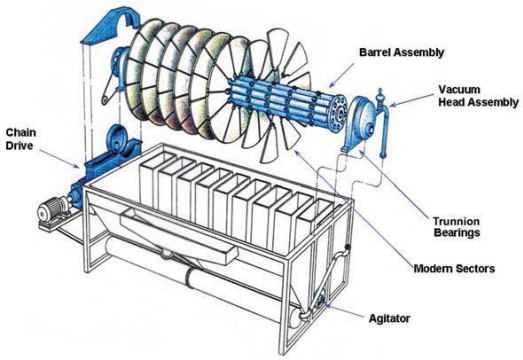
Filtrasi adalah proses yang digunakan untuk memisahkan padatan dari cairan menggunakan media filter yang memungkinkan fluida melewati filter tetapi padatannya tersaring. Istilah filtrasi berlaku pada beberapa filter baik filter itu bersifat mekanis, biologis, atau fisik. Fluida yang melewati filter disebut 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.

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 dapat 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 diapit 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 oretaconite* , batubara, dan aluminium hidrat.



Gambar III.6 *Disc Filter*

III.1.4.1.2 *Horizontal Belt Filter*

Horizontal belt filter terdiri dari *deck conveyor* drainase horizontal yang sangat berlubang yang dilengkapi dengan media filter. *Slurry* bergerak dari awal ke ujung lainnya. Filtrasi dimulai sebagian oleh gravitasi dan sebagian oleh mekanisme vakum yang terpasang pada bagian bawah *deck* drainase yang bergerak. *Cake* dilepaskan saat *belt* terbalik di atas *roller*.

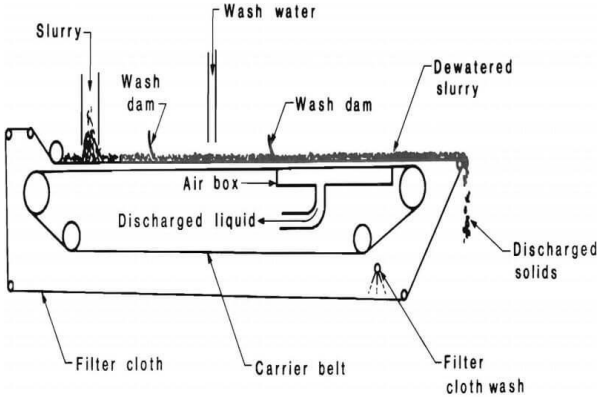
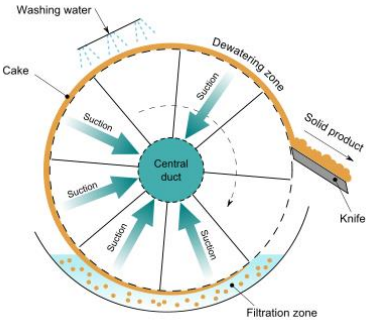


FIGURE 21. - Cross section of typical horizontal belt vacuum filter (15, 20).

Gambar III.7 *Horizontal Belt Filter*

III.1.4.1.3 *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*.



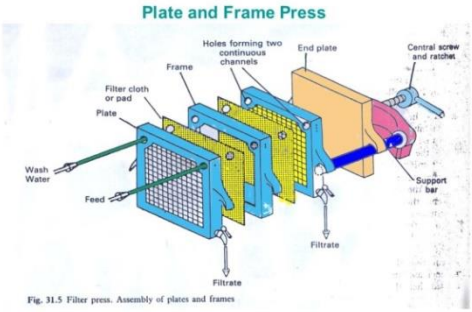
Gambar III.8 *Rotary Drum Filter*

III.1.4.1.4 *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. Dari saluran ini, suspensi masuk ke bingkai menuju ruang di antara pelat-pelat. Suspensi diberikan tekanan tinggi 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. Akumulais

suspensi inilah yang disebut *cake*. 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.9 *Plate and Frame Filter Press*

III.1.5 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.1.5.1 *Thickening*

Thickening adalah proses dimana solids terakumulasi 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.

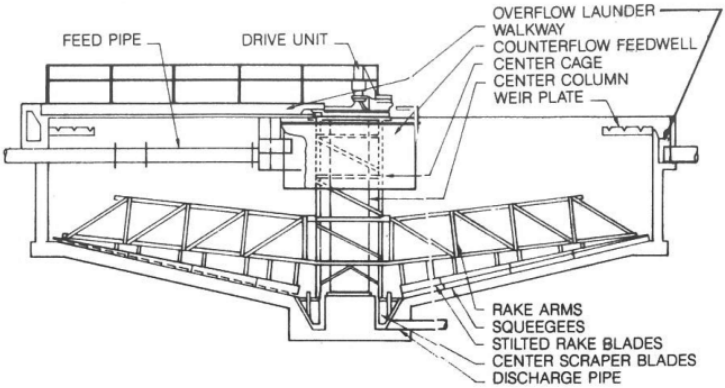
Ada beberapa metode berbeda untuk proses *thickening biosolid*, termasuk flotasi udara terlarut (DAF), sentrifugal

thickening, *gravity belt thickening*, dan *gravity thickening*. *Gravity thickening* menggunakan kecenderungan alami padatan berkepadatan lebih tinggi untuk mengendap dari cairan untuk memekatkan padatan.

III.1.5.1.1 *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.

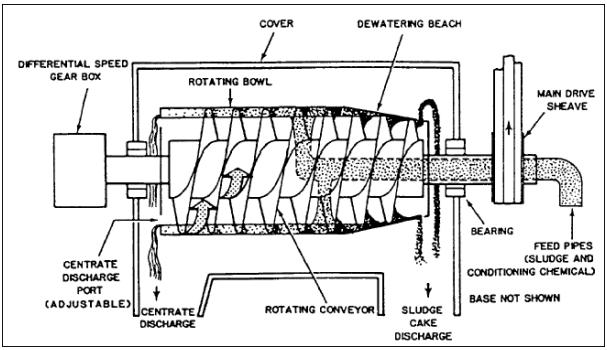
Konsentrasi dan *thickening* biosolid yang terjadi dalam tangki dicapai melalui tiga proses pengendapan berbeda, yang meliputi *gravity settling*, *hindered settling*, dan *compaction settling*. *Gravity settling* terjadi ketika partikel padat bergerak ke bawah karena beratnya. Pengendapan berlanjut 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.10 *Gravity Thickening*

III.1.5.1.2 *Centrifugal Thickening*

Centrifugal thickening dan pengeringan limbah *sludge* adalah proses kecepatan tinggi yang menggunakan gaya dari rotasi cepat untuk memisahkan padatan air limbah dari cairan. *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.11 *Centrifugal Thickening*

III.1.6 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.

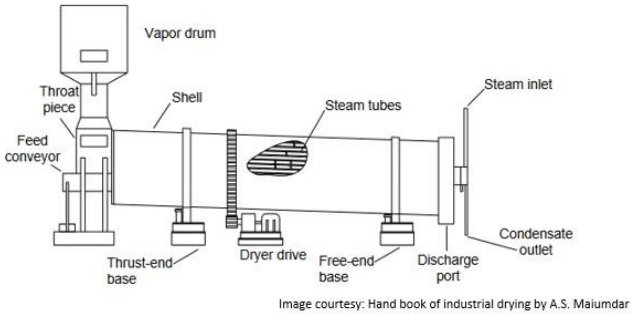
III.1.6.1 *Rotary Dryer*

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*

memiliki sedikit kemiringan agar materi yang masuk ke dalam *Rotary Dryer* dapat dikeluarkan dengan menggunakan gravitasi.

Rotary dryer dapat dikatakan bertipe langsung jika, berdasarkan desainnya, panas ditambahkan atau dihilangkan dari padatan dengan kontak 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 padatan dengan padatan menggunakan dinding logam atau tabung. Biasanya tipe seperti ini digunakan apabila padatan yang dikeringkan memiliki nilai ekonomis yang tinggi, hal ini agar padatan tersebut tidak terbawa oleh udara.

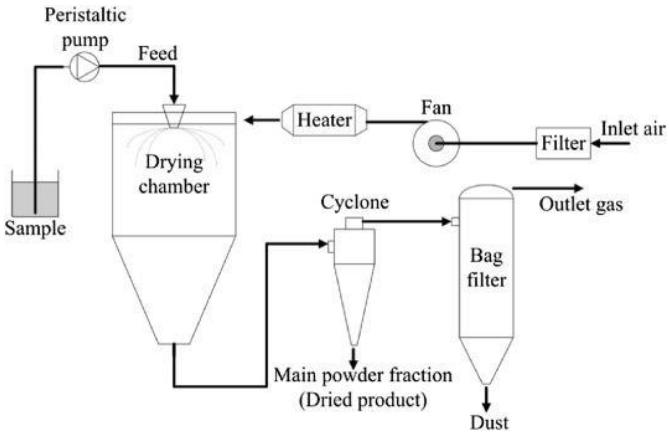


Gambar III.12 *Rotary Dryer*

III.1.6.2 *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.13 *Spray Dryer*

III.1.6.3 *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.1.7 *Size Reduction*

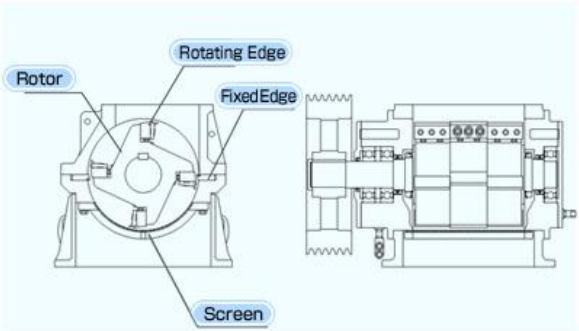
Size reduction adalah proses mengurangi massa satuan padat besar menjadi satuan satuan kecil, partikel kasar atau partikel halus. Proses pengurangan ukuran juga disebut sebagai *comminution* dan *grinding*. Ketika ukuran partikel padatan dikurangi dengan cara mekanis maka disebut sebagai penggilingan (*milling).* 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.1.7.1 *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 horizontal (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*.



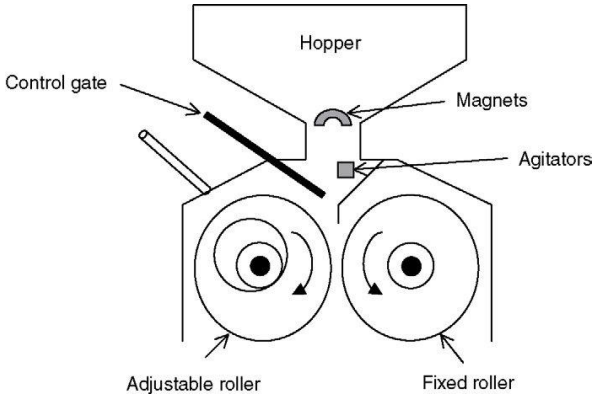
Gambar III.14 *Rotary Cutter Mill*

III.1.7.2 *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, dan beberapa bahan padat. *Roller berputar*

dengan kecepatan yang berbeda dan material dicukur saat melewati celah.

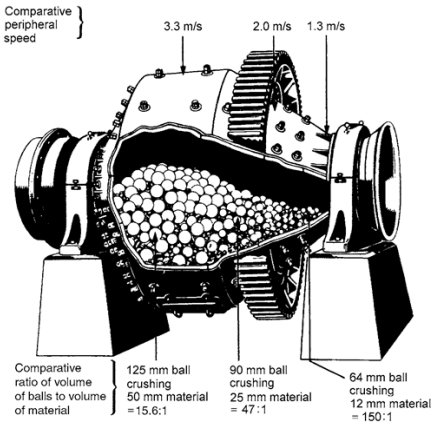
Untuk mendapatkan ukuran partikel yang diinginkan, maka celah antara *roll* dan perbedaan kecepatan antara *feed rate* dan *roll* harus dikontrol.



Gambar III.15 *Roller Mill*

III.1.7.3 *Ball Mill*

Ball mill adalah jenis penggiling yang digunakan untuk menggiling dan mencampur *bulk material* menjadi ukuran nano menggunakan bola-bola. Prinsip kerjanya sederhana, 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 bola yang digunakan, bahan yang digunakan untuk permukaan silinder, kecepatan rotasi, dan pilihan bahan yang akan digiling. *Ball mill* berisi cangkang silinder berlubang yang berputar pada sumbunya. 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.16 *Ball Mill*

III.1.8 *Solid Storage*

III.1.8.1 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.1.8.1.2 *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 kekedapan

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.17 *Tower Silo*

III.1.8.1.3 *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 *load*er 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.

III.1.8.1.4 *Big Bag*

Big Bag sangat umum digunakan sebagai bejana penyimpanan pada industri bubuk karbon aktif, larutan kapur atau $Ca(OH)_2$, 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.

III.9 *Gas-Liquid Separator*

Setelah biometana melewati proses absorpsi, biometana dilewatkan melalui *water trap* untuk menghilangkan kadar air yang masih terbawa oleh gas. Kadar air dalam biometana harus dihilangkan apabila gas tersebut dibuat untuk bahan bakar kendaraan dan pembangkit listrik. Air dapat dihilangkan melalui

pemisahan secara fisik dan kimia. Metode pemisahan secara fisik dapat dilakukan dengan peralatan sebagai berikut:

1. *Demister separator*, di mana partikel liquid dipisahkan dengan bantuan mesh dengan ukuran 0,5 – 2 nm. *Demister separator* dapat memiliki konfigurasi vertikal maupun horizontal. Konfigurasi vertikal lebih umum digunakan karena efisiensinya tidak dipengaruhi oleh ketinggian *liquid* di dalam separator, tetapi *horizontal separator* digunakan untuk pemisahan tiga fase atau saat ruang yang tersedia lebih kecil.
2. *Knock out drum* cocok digunakan untuk proses pemisahan gas dan liquid dengan kandungan liquid tinggi dan efisiensi yang tidak terlalu tinggi.
3. *Moisture trap* dengan memanfaatkan ekspansi, sehingga suhu menurun dan menyebabkan air terkondensasi.
4. *Cyclone*, di mana air dipisahkan dengan menggunakan bantuan gaya sentrifugal. *Cyclone* memiliki efisiensi yang baik pada *flow rate* yang rendah dan efisiensinya akan menurun ketika diameter *cyclone* besar. Biaya operasional *cyclone* tinggi, terutama saat dioperasikan pada kondisi yang vakum karena memiliki *pressure drop* yang lebih tinggi dibandingkan *knockout drum* atau *demister separator*.

Karena kadar air yang tidak terlalu tinggi pada biometana, maka proses penghilangan air dapat dilakukan dengan menggunakan *knock-out drum* yang dilengkapi dengan demister karena memiliki efisiensi hingga 98%. Terdapat dua jenis demister yang umum digunakan, yaitu *wire mesh demister* dan *vane pack demister*. *Wire mesh demister* terbuat dari besi atau kawat plastik dengan diameter 0,006 sampai 0,011 inci dengan

kemampuan menangkap *droplet* liquid hingga berukuran 5 mikron. Wire mesh demister lebih sering digunakan karena dapat digunakan untuk berbagai tipe separator dan mampu menangani *flow rate gas* pada berbagai rezim, tetapi lebih rawan mengalami fouling (penyumbatan). *Vane pack demister* terdiri dari plat-plat yang telah disusun menjadi bentuk zig zag. *Vane pack demister* tidak cocok digunakan untuk droplet berukuran lebih kecil dari 20 mikron, tetapi *demister* tipe ini memiliki desain yang lebih kokoh dan *pressure drop* lebih kecil dibandingkan wire mesh. *Vane pack demister* biasanya digunakan untuk kecepatan gas yang tinggi, liquid yang kental, dan slug.

III.1.10 Transportasi Liquid

III.1.10.1 *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 angina dan tersedia dalam berbagai ukuran, dari mikroskopis untuk digunakan dalam aplikasi medis hingga industri besar.

III.10.2 *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.

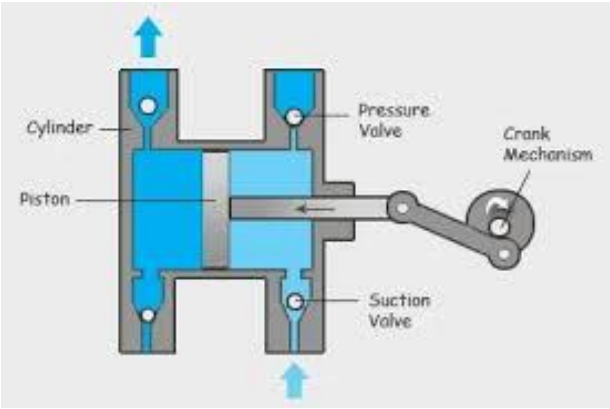
Beberapa tipe dari *centrifugal pump* antara lain yaitu *multistage pump*, *circulator pump*, dan *slurry pump*.

III.1.10.3 *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.2 Seleksi Proses

III.2.1 Pemilihan Reaktor Proses *Pre-treatment Steel Slag*

Jenis Reaktor	Kelebihan	Kekurangan
Reaktor *Batch*	Simpel, operasi fleksibel, dan biaya instrumentasi yang rendah	*Labor cost* yang tinggi, perlu waktu untuk *cleaning* yang banyak, dan kualitas produk yang buruk
CSTR	*Labor cost* yang renda, operasi kontinyu, konstruksi mudah, kontrol yang mudah, pembersihan mudah	Konversi yang kurang tinggi per unit volume.
Reaktor *Plug Flow*	Perawatan mudah karena tidak ada *moving part*, konversi tinggi,	Kesulitan mengontrol kualitas produk, temperatur

(Visual Encyclopedia of Chemical Engineering)

Untuk reaktor *pre-treatment steel slag* dipilih reaktor CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*). Hal ini disebabkan CSTR memiliki kelebihan berupa desain yang simpel, mampu dioperasikan secara kontinyu, biaya operasi yang murah, dan produk dengan konsentrasi yang seragam.

III.2.2 Pemilihan Solid-Liquid Separator

Produk keluaran reaktor *pre-treatment steel slag* masih mengandung banyak padatan yang harus dibuang karena mengandung *impurities.* Selain itu, produk keluaran pada reaktor karbonasi, $CaCO_3$ masih menyatu dengan liquid NH_4Cl maka perlu dipisahkan terlebih dahulu untuk mendapatkan $CaCO_3$ murni sedangkan NH_4Cl akan direcycle dan digunakan lagi pada tahap ekstraksi. Dalam proses pemisahan produk PCC dengan liquid, terdapat beberapa metode yang digunakan seperti pada **Tabel III.6** berikut :

Tabel III.6 Perbandingan Jenis Solid-Liquid Separator

Jenis Separator	Liquid in Solid Product	Konsentrasi Padatan Feed	Ukuran Partikel	Biaya
Vacuum drum filter	Baik	Tinggi - Sedang	Sedang	Sedang – Tinggi
Disc filter	Baik	Sedang	Halus	Sedang – Tinggi
Clarifier	Buruk	Rendah	Halus	Sangat rendah
Plate and Frame Filter Press	Baik	Rendah – Sedang	Halus	Sedang
Centrifugation solid bowl	Sedang	Sedang – Tinggi	Sedang – Halus	Sedang – Tinggi

Thickener	Buruk	Sedang	Sedang	Sangat Rendah
Cyclones	Buruk – Sedang	Rendah – Sedang	Sedang – Halus	Rendah – Sedang
Screens	Buruk-Cukup	Sedang-Tinggi	Kasar	Sedang-Tinggi
Ultrafiltration	Sedang	Rendah	Sangat Halus	Sangat Tinggi

(Sebastian Teir, 2016)

Jenis separator yang digunakan untuk pemisahan *impurities* dari larutan Ca^{2+} adalah *plate and frame filter press*. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan padatan yang dapat diambil oleh *plate and frame filter press*, sehingga larutan yang akan masuk ke proses selanjutnya sudah lebih murni.

Jenis separator yang digunakan untuk pemisahan PCC dari *liquid* adalah

1. *Thickener* digunakan terlebih dahulu untuk mengurangi konsentrasi liquid yang masih sangat tinggi dengan biaya yang sangat rendah.
2. Kemudian digunakan *plate and frame filter press* untuk mendapatkan ukuran partikel yang lebih halus.

Hal ini disebabkan *thickener* dan *plate and frame filter press* dapat memisahkan *solid* dari *liquid* dengan efisiensi yang tinggi dan dengan *solid content* produk sangat tinggi (>99%) dan kedua alat tersebut memiliki biaya yang rendah-sedang.

III.1.2.3 Pemilihan Dryer

Setelah separasi solid liquid untuk pemurnian PCC, didapat PCC dengan kemurnian yang tinggi namun masih mengandung air sebanyak 9% sehingga kandungan air ini harus dihilangkan dengan proses pengeringan.

Perbandingan antara berbagai jenis dryer yang dapat diaplikasikan pada pengeringan PCC dapat dilihat pada **Tabel III.7**

Tabel III.7 Perbandingan Jenis Dryer

Jenis Dryer	Kebutuhan Energi, 10^9MJ/y	Drying Efficiency, %	Fase	Ukuran Partikel	Moisture Content
Conveyor	1.9	40-90	Solid	Intermediate to large	Moderate to high
Drum	2.4	85	Liquid	Intermediate to large	-
Fluidized Bed	23	40-80	Solid	Small	Moderate to high
Rotary (direct)	53	78-90	Solid	Small	Moderate to high
Spray	9.5	50	Liquid	-	-
Vacuum tray	<1	60	Solid	Small	Moderate to high
Microwave to dielectric	<1	60	Solid	Small	Low

(Fellow, 1988)

Bedasarkan perbandingan pada **Tabel III.7**, jenis *dryer* yang digunakan adalah *rotary dryer* (*direct*), hal itu dikarenakan beberapa hal berikut yaitu :

1. Efisiensi yang tinggi mencapa hingga 90%
2. Fase dari *feed* yang masuk berupa solid dengan moisture content yang tinggi (mencapai sekitar 9%) serta ukuran partikel yang kecil.

III.1.3.4 Pemilihan Pompa

Tabel III.8 Perbandingan Jenis Pompa

Tipe	Jenis	kapasitas (gpm)	Advantages
Centrifugal	Single Stage	5000	Biaya murah
	Multistage	11000	Untuk kapasitas tinggi
Peristaltic	Peristaltic	2000	Dapat mengalirkan slury
Reciprocating	piston,plunger	10000	Untuk tekanan tinggi
	Metering	10	Untuk kapasitas rendah
	Diaphgram	100	Perawatan mudah

(Chemical Proces and Design)

Berdasarkan Tabel III.7 perbandingan pompa diatas,maka *centrifugal pump single stage* dipilih untuk mengalirkan *slurry* karena memiliki biaya yang murah dan mampu memompa sesuai dengan kapasitas yang dibutuhkan.

III.1.3.5 Pemilihan Kompresor

Tabel III.9 Perbandingan Jenis Kompressor

Jenis	Efficiency (%)	Max Pressure (bar)
Centrifugal	70	340
Axial Flow	75	9
Reciprocating	70	2400
Rotary	80	6

(Chemical Proces and Design)

Pemilihan kompresor didasarkan pada kebutuhan kenaikan tekanan untuk mengalirkan gas dari suatu alat,ke alat

yang lain. *Centrifugal compressor* dipilih karena memiliki tekanan yang cukup tinggi untuk menaikan tekan sesuai kebutuhan

III.1.3.6 Seleksi Proses Pembuatan *Precipitated Calcium Carbonated*

Di antara proses pembuatan PCC, perbandingan proses dapat dilihat pada Tabel III.8 berikut:

Tabel III.10 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	Atmosferis atau bertekanan	Atmosferis atau 2-10 atm
Konversi	80%	<90%	95%
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.3 Uraian Proses

III.3.1 Proses H_2S *Removal*

III.3.1.1 *Soil Laterite*

Biomethane memiliki kandungan H_2S dan CO_2 sebagai *impurities*. Pemurnian biogasdari H_2S perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan karbonasi untuk menghilangkan CO_2. Salah satu cara menghilangkan H_2S dari biogas adalah dengan metode adsorbsi. *Soil laterite* digunakan sebagai adsorben untuk menyerap H_2S. *Soil laterite* yang digunakan berasal dari Halmahera, Maluku TImur dan memiliki ukuran sebesar 21 mesh (820 µm) dengan moisture content sebesar 16%. *Soil laterite* ini akan digunakan sebagai *bed* pada *packed bed reactor* (R-110).

III.3.1.2 Adsorbsi

Pada saat proses adsorbsi, biogas dialirkan menggunakan *compressor* (H-000) menuju *fixed bed reactor* (R-110) untuk melakukan proses H_2S *removal* oleh *soil laterite*. Penggunakan *fixed bed reactor* mampu menambah waktu kontak biogas dengan *soil laterite* agar penyerapan H_2S lebih maksimal. Penyerapan H_2S dapat dilakukan hingga kadar H_2S dalam biogas menjadi ±1 ppm. Biogas yang bebas dari H_2S mengalir menuju *cooler* (E-211) untuk dilanjutkan ke tahapan karbonasi. *Cooler* ini akan menurunkan suhu biogas menjadi 50^0C.

III.3.2. Proses CO_2 *Removal*

III.3.2.1 Ekstraksi

Biogas sebagai feed untuk pabrik purifikasi ini, terbentuk dari proses biodigester oleh PT. Enero dengan kemurnian CH_4 sebesar 61% dimana sisanya berupa *impurities* seperti CO_2

sebesar 38% dan H_2S sebebesar 1%. *Impurities* tersebut harus dihilangkan untuk mendapatkan *high purity biomethane* dengan metode purifikasi menggunakan *steel slag* dari PT. Krakatau Steel. *Steel slag* yang digunakan adalah jenis *ground granulated blast furnace slag* (GGBFS). GGBFS yang digunakan sebagai feed memiliki kandungan CaO 45,2% dan memiliki ukuran sebesar 3 mm. *Steel slag* dari storage dibawa dengan *belt conveyor* (J-122) menuju *ball mill* (C-123) untuk melalui proses *grinding* hingga ukuran *steel slag* mencapai 20 µm. *Steel slag* kemudian diekstraksi dengan NH_4Cl pada temperature 60^oC pada CSTR (R-120) dengan *pitch blade turbine* dan waktu tinggal 15 menit untuk menghasilkan slurry hasil reaksi CaO dengan NH_4Cl. Perbandingan NH_4Cl dan steel slag adalah 100 gram/L dengan 41% kandungan Ca yang terekstraksi. CaO yang terlarut memudahkan terbentuknya NH_4OH. Reaksi yang terjadi:

$$CaO(s) + 2NH_4Cl(aq) + H_2O(l) \rightarrow CaCl_2(aq) + 2NH_4OH(aq)$$

Suhu 60 ^oC adalah suhu optimum CaO dapat larut dengan NH_4Cl sehingga CaO bisa terekstraksi sempurna sedangkan kandungan lain selain CaO masih dalam bentuk endapan. Bila suhu ditingkatkan lagi maka *impurities* lain dapat larut dan mengganggu reaksi ke depannya.

III.3.2.2 *Solid Liquid Separation* (Menghilangkan *Impurities* Padatan)

Setelah ekstraksi kandungan Ca pada R-120, *slurry* dialirkan dengan *centrifugal pump* (L-127) menuju *plate and frame filter press* (H-212). Pada *centrifugal pump*, tekanan *slurry* ditingkatkan menjadi 5 bar agar menyesuaikan dengan tekanan operasi *plate and frame filter press*. Pada *plate and frame filter press*, *slurry* akan ditekan terhadap *plate* dan *frame filter* sehingga kandungan padatan akan menempel pada *filter* dan terpisah dari kandungan *liquid*. Pada alat tersebut, terdapat juga

air pencuci yang akan melarutkan kandungan *liquid* sehingga dapat terpisah dari padatan. Pada *plate and frame filter press* ini kandungan *liquid* yang mengandung NH_4OH dan $CaCl_2$ akan dialirkan dengan *centrifugal pump* (L-213) untuk melalui proses selanjutnya dalam proses utama, sedangkan kandungan padatan akan dibuang sebagai limbah. Pada proses ini, 99% padatan akan terbuang dan sisanya akan terikut ke dalam kandungan *liquid*.

III.3.2.3 Reaksi pada *Bubble Column Reactor*

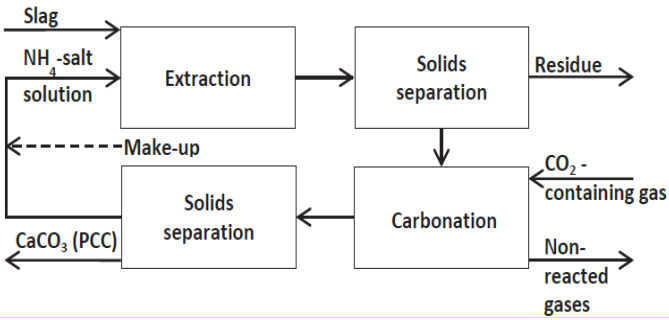
Liquid yang mengandung NH_4OH dan $CaCl_2$ akan dipompa oleh centrifugal pump (L-213) dan selanjutnya akan melalui *splitter*, dan akan dibagi menuju 2 tujuan, yaitu *Bubble Column Reactor* 1 (R-210) dan *Bubble Column Reactor* 2 (R-220) dengan 77% *liquid* menuju Bubble Column Reactor 1 dan 23% sisanya menuju Bubble Column Reactor 2 (R-220).

Selanjutnya biogas yang telah didinginkan dialirkan menuju *Bubble Column Reactor* 1 (R-210) untuk direaksikan dengan $CaCl_2$ dan NH_4OH. Reaksi yang terjadi adalah:

$$2NH_4OH_{(aq)} + CO_{2\,(g)} \rightarrow (NH_4)_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$$

$$(NH_4)_2CO_{3(aq)} + CaCl_{2(aq)} \rightarrow CaCO_{3(s)} + 2NH_4Cl_{(aq)}$$

Pada tahap ini, CO_2 akan terkonversi sebanyak 85%, dan akan terbentuk $(NH_4)_2CO_3$. Setelah terbentuk $(NH_4)_2CO_3$, senyawa tersebut akan bereaksi dengan $CaCl_2$ membentuk $CaCO_3$ dan membentuk kembali NH_4Cl, sedangkan gas CH_4 tidak akan mengalami reaksi. $CaCO_3$ dan NH_4Cl akan langsung menuju *Thickener* (H-310) untuk separasi lebih lanjut. Sedangkan biogas akan dialirkan untuk konversi CO_2 lebih lanjut di *Bubble Column Reactor* 2 (R-220). Pada *Bubble Column Reactor* 2 (R-220), biogas akan mengalami reaksi yang sama dan $CaCO_3$ dan NH_4Cl yang terbentuk juga akan dialirkan menuju *Thickener*. Hasil biogas ini akan memiliki kandungan CH_4 sebesar 88,1%, CO_2 sebesar 3,4% , dan sisanya air.



Gambar III.19 Skema Proses Purifikasi Biogas dan Precipitated Calcium Carbonated

III.3.4 Pemurnian *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC)

Pada *Thickener* (H-310), *solid* akan dipisahkan dengan cara sedimentasi dengan bantuan *scraper* yang berada dalam *thickener*. Kandungan NH_4Cl dan H_2O *liquid* akan keluar sebagai *overflow* dan akan dialirkan menuju tangki *recycle* (F-312) sedangkan *slurry* PCC akan dialirkan dengan *centrifugal pump* (L-321) menuju *plate and frame filter press* (H-320). Pada *plate and frame filter press*, *slurry* dengan *solid content* sebesar 40% tersebut akan dipisahkan kandungan *liquid*-nya. *Liquid* yang mengandung NH_4Cl tersebut akan di-*recycle* ke dalam tangki *recycle* (F-312). Sedangkan *cake* yang kaya akan PCC (80%, dengan ±9% kandungan *liquid*) akan dialirkan menuju *Rotary Dryer* (B-330) menggunakan *screw conveyor* (J-331).

Pada *Rotary Dryer*, *cake* akan mengalami *drying* dimana *cake* tersebut akan berkontak secara langsung (secara *direct*) dengan udara dengan suhu 120^0C. Dari proses tersebut, kandungan air akan terbawa oleh air sehingga akan dihasilkan PCC dengan kandungan air ±0%. Dari *rotary dryer* tersebut,

udara akan keluar menuju *cyclone* (H-332) untuk menyaring padatan yang terbawa oleh udara. *Cyclone* bekerja dengan prinsip sentrifugal untuk memisahkan padatan yang terbawa dengan udara agar dapat kembali bersatu dengan padatan pada aliran utama.

III.3.5 *Size Reduction Precipitated Calcium Carbonate* (PCC)

Selanjutnya PCC akan dialirkan oleh *screw conveyor* (J-333) menuju *ball mill* (C-334) untuk memperkecil ukuran partikel. Ukuran partikel PCC hasil produksi ini masih berkisar ±100µm sedangkan agar bisa digunakan untuk keperluan industri, ukuran partikel haruslah ±2µm sehingga perlu adanya proses *size reduction*. Setelah itu, PCC dialirkan menggunakan *screw conveyor* (J-335) menuju PCC *Storage* (F-336) untuk penyimpanan selama ±30 hari. Produk akhir PCC ini memiliki komposisi 97,5% $CaCO_3$, 1% SiO_2 , 0,8% CaO, 0,15% NH_4Cl serta 0,22% H_2O.

III.3.6 *Biomethane Post-treatment*

Setelah keluar dari *Bubble Column Reactor* (R-220), *biomethane* masih memiliki kandungan air yang terikut (8,55%) sehingga harus dipisahkan. Pemisahan ini dilakukan dengan menggunakan *Adsorber* (D-340). Adsorben yang digunakan yaitu berupa silica gel yang mampu memisahkan sebanyak 97% kadar air yang terkandung dalam *biomethane* sehingga kadar air dapat diturunkan menjadi 0,3%.

Biomethane akan diolah hingga memiliki spesifikasi yang menyerupai *Compressed Biomethane Gas* (CBG). CBG memiliki tekanan sebesar 200 bar sedangkan *biomethane* yang dihasilkan hanya memiliki tekanan sebesar 1,88 bar sehingga harus dilewatkan sebuah *compressor package* (G-351) dimana

compressor yang digunakan yaitu terdiri dari beberapa *stage (multi-stage)* yang dilengkapi dengan *intercooler*. *Compressor* harus dibuat *multi-stage* karena rasio kompresi gas yang sangat besar (±100) dan *intercooler* juga diperlukan untuk mendinginkan suhu gas saat tekanannya ditingkatkan oleh *compressor*.

Tabel III.11 Perbandingan Standar CBG dengan Produk Hasil Akhir

No	ISO 16087: 2016 Standard	Hasil Produksi
% CH_4 , minimum	90%	96%
% CO_2, maksimum	4%	3,7%
%CO_2+O_2+N_2, maksimum	10%	3,7%
H_2S, maksimum	20 mg/m^3	0 mg/m^3
O_2	5 mg/m^3	0 mg/m^3

(Compressed Bio Gas : The Way of the Future, 2019)

BAB IV

NERACA MASSA DAN 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:

$$\begin{pmatrix} Aliran\ massa \\ masuk\ dalam\ sistem \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} Aliran\ massa \\ keluar\ dalam\ sistem \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Akumulasi\ massa \\ dalam\ sistem \end{pmatrix}$$

Basis Perhitungan: 1 jam operasi

Waktu Operasi: 330 hari/tahun (1 tahun = 24 jam)

Kondisi Biogas:

P = 1 atm

T = 0^oC = 273.15 K

V = 1000 Nm^3

Maka:

$$\text{Mol biogas yang diolah} = \frac{PV}{RT} = \frac{1\ atm\ x\ 1000\ m^3}{0.0826\frac{m^3 atm}{kmol}.K\ x\ 273.15\ K}$$

$$= 44613.6\ mol$$

Komposisi biogas dari PT Energi Agro Nusantara

Data komposisi biogas disajikan dalam tabel IV.1 dibawah ini:

Tabel IV.1 Komposisi Biogas

No	Komponen	Fraksi Volume	Volume (m3)	BM (g/mol)	Mol	Massa (kg)
1	CH_4	0.61	610	16	27214.3	435.43
2	CO_2	0.38	380	44	16953.2	745.94
3	H_2S	0.01	10	34	446.14	15.17
TOTAL		**1**	**1000**		**44614**	**1196.54**

Komposisi Limbah Blast Furnace Steel Slag PT Krakatau Steel

Data komposisi steel slag disajikan dalam tabel IV.2 dibawah ini:

Tabel IV.2 Komposisi Blast Furnace Steel Slag

No	**Komponen**	**Fraksi Massa**	**BM (g/mol)**	**Fraksi x BM**	**Mol**	**Massa (kg)**
1	CaO	0.452	56	25.31	44909.81634	2514.9
2	Fe_2O_3	0.0134	159.69	2.14	466.89	74.56
3	SiO_2	0.348	60.084	20.91	32226.36	1936.29

4	MgO	0.0099	40.305	0.40	1366.68	55.08
5	Al_2O_3	0.1479	101.961	15.08	8070.96	822.92
6	K_2O	0.0038	94	0.36	224.93	21.14
7	Na_2O	0.0022	62	0.14	197.43	12.24
8	TiO_2	0.0055	79.87	0.44	383.15	30.60
9	SO_3	0.0174	80	1.39	1210.18	96.81
TOTAL				**66.17**		**5564.04804**

Komposisi Soil Laterite

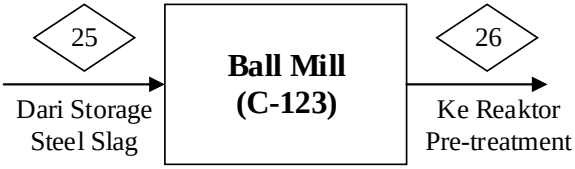
Data komposisi soil laterite disajikan dalam tabel IV.3 dibawah ini:

Tabel IV.3 Komposisi Soil Laterite

No	Komponen	Fraksi Massa
1	FeO	0.748
2	Al_2O_3	0.050
3	NiO	0.024
4	SiO_2	0.020
5	SO_3	0.009
6	MgO	0.007
7	CaO	0.002

8	MnO	0.002
9	H_2O	0.138
TOTAL		**1.000**

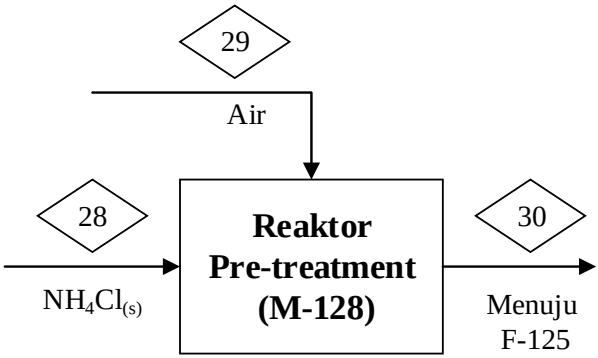
1. Ball Mill (C-123)



Tabel IV.4 Neraca Massa Ball Mill (C-123)

No	Komponen	MASUK		KELUAR	
		Aliran <25>		Aliran <26>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa
1	CaO	0.452	2514.9	0.452	2514.9
2	Fe_2O_3	0.0134	74.6	0.0134	74.6
3	SiO_2	0.348	1936.3	0.348	1936.3
4	MgO	0.0099	55.1	0.0099	55.1
5	Al_2O_3	0.1479	822.9	0.1479	822.9
6	K_2O	0.0038	21.1	0.0038	21.1
7	Na_2O	0.0022	12.2	0.0022	12.2
8	TiO_2	0.0055	30.6	0.0055	30.6
9	SO_3	0.0174	96.8	0.0174	96.8
TOTAL		**1**	**5564.6**	**1**	**5564.6**

2. Tangki untuk melarutkan NH_4Cl solid dengan H_2O



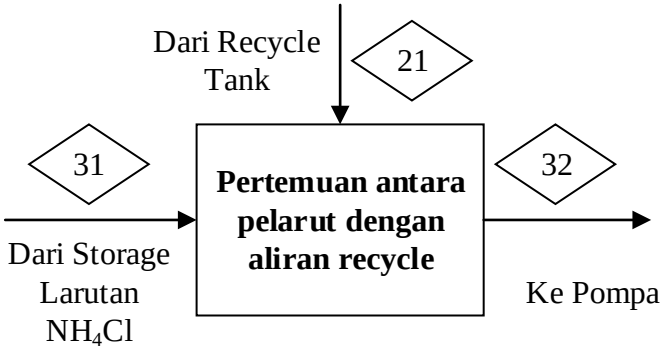
Tabel IV.5 Neraca Massa Aliran Masuk dan Keluar Tangki Pelarutan Larutan NH_4Cl (M-128)

No	Komponen	MASUK				KELUAR	
		Aliran <28>		Aliran <29>		Aliran <30>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa
1	NH_4Cl	1.000	614.6	0.000	0.000	0.102	614.57
2	H_2O	0.000	0.0	1.000	5426.2	0.898	5426.2
TOTAL		**1**	**614.6**	**1**	**5426.2**	**1**	**6040.75**

Tabel IV.6 Neraca Massa Tangki Pelarutan Larutan NH_4Cl (M-128)

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <28>	614.57	Aliran <30>	6040.75
Aliran <29>	5426.18		
Total	**6040.75**	**Total**	**6040.75**

3. Titik pertemuan recycle



Tabel IV.7 Neraca Massa Titik Pertemuan *Recycle*

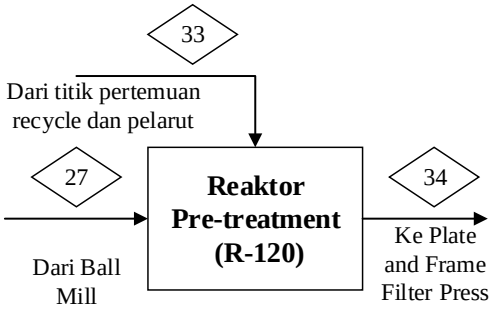
No.	Komponen	Masuk				Keluar	
		Aliran <31>		Aliran <21>		Aliran <32>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa	Fraksi massa	Massa
1	CaO	0	0.0	0.000031	1.619	0.0000280	1.619
2	Fe_2O_3	0	0.0	0.000002	0.081	0.0000014	0.081
3	SiO_2	0	0.0	0.000041	2.113	0.0000365	2.113
4	MgO	0	0.0	0.000001	0.060	0.0000010	0.060
5	Al_2O_3	0	0.0	0.000017	0.898	0.0000155	0.898
6	K_2O	0	0.0	0.000000	0.023	0.0000004	0.023
7	Na_2O	0	0.0	0.000000	0.013	0.0000002	0.013
8	TiO_2	0	0.0	0.000001	0.033	0.0000006	0.033
9	SO_3	0	0.0	0.000002	0.106	0.0000018	0.106
10	NH_4Cl	0.102	614.6	0.102932	5339.0	0.103	5953.5
11	H_2O	0.898	5426.2	0.893080	46323.1	0.894	51749.3
12	$CaCO_3$	0	0.0	0.003892	201.9	0.00348631	201.9

Total	**1**	**6040.7**	**1**	**51868.9**	**1**	**57909.7**

Tabel IV.8 Neraca Massa Titik Pertemuan *Recycle*

Massa Masuk (kg)		**Massa Keluar (kg)**	
Aliran <31>	6040.75	Aliran <32>	57909.65
Aliran <21>	51868.90		
Total	**57909.65**	**Total**	**57909.65**

4. Reaktor Pretreatment Steel Slag



Tabel IV.9 Neraca Massa Reaktor *Pre-treatment* (R-120)

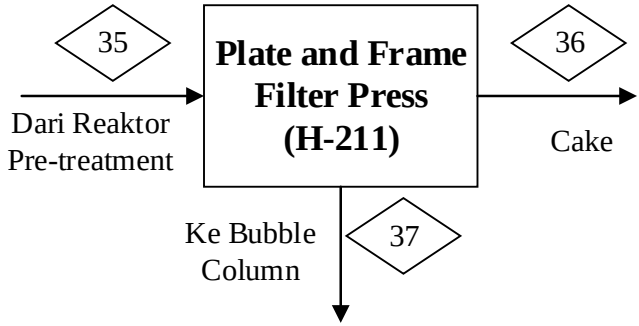
No	**Komponen**	**MASUK**				**KELUAR**	
		Aliran <27>		**Aliran <33>**		**Aliran <34>**	
		Fraksi Massa	**Massa**	**Fraksi Massa**	**Massa**	**Fraksi Massa**	**Massa**
1	CaO	0.452	2514.9	0.000	1.619	0.023	1485.44
2	Fe_2O_3	0.013	74.6	0.000	0.081	0.001	74.6
3	SiO_2	0.348	1936.3	0.000	2.113	0.031	1938.4
4	MgO	0.010	55.1	0.000	0.060	0.001	55.1
5	Al_2O_3	0.148	822.9	0.000	0.898	0.013	823.8
6	K_2O	0.004	21.1	0.000	0.023	0.000	21.2

7	Na_2O	0.002	12.2	0.000	0.013	0.000	12.3
8	TiO_2	0.005	30.6	0.000	0.033	0.000	30.6
9	SO_3	0.017	96.8	0.000	0.106	0.002	96.9
10	NH_4Cl	0.000	0.00	0.103	5953.53	0.063	3983.338
11	H_2O	0.000	0.00	0.894	51749.3	0.810	5.14E+04
12	$CaCl_2$	0.000	0.00	0.000	0	0.032	2043.8457
13	NH_4OH	0.000	0.00	0.000	0	0.020	1288.91
14	$CaCO_3$	0.000	0.00	0.003	201.9	0.003	201.89
TOTAL		**1.00**	**5564.60**	**1**	**57910**	**1**	**63474.26**

Tabel IV.10 Neraca Massa Reaktor Pre-treatment (R-120)

Massa Masuk (kg)		**Massa Keluar (kg)**	
Aliran <27>	5564.60	Aliran <34>	63474.26
Aliran <33>	57909.65		
Total	**63474.26**	**Total**	**63474.26**

5. Plate and Frame Filter Press (H-211)



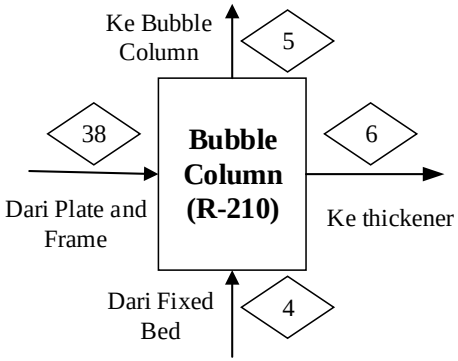
Tabel IV.11 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (H-211)

No	Komponen	MASUK		KELUAR			
		Aliran <35>		Aliran <36>		Aliran <37>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa
1	CaO	0.023	1485.44	0.139	1470.59	0.000	14.85
2	Fe_2O_3	0.001	74.64	0.007	73.89	0.000	0.75
3	SiO_2	0.031	1938.40	0.182	1919.02	0.000	19.38
4	MgO	0.001	55.14	0.005	54.59	0.000	0.55
5	Al_2O_3	0.013	823.82	0.077	815.58	0.000	8.24
6	K_2O	0.000	21.17	0.002	20.95	0.000	0.21
7	Na_2O	0.000	12.2543	0.001	12.13	0.000	0.12
8	TiO_2	0.000	30.6357	0.003	30.33	0.000	0.31
9	SO_3	0.002	96.9201	0.009	95.95	0.000	0.97
10	NH_4Cl	0.063	3983.34	0.038	398.33	0.068	3585.00
11	H_2O	0.810	51417.8	0.487	5141.78	0.875	46276.06
12	$CaCl_2$	0.032	2043.85	0.019	204.38	0.035	1839.46
13	NH_4OH	0.020	1288.91	0.012	128.89	0.022	1160.02
14	$CaCO_3$	0.003	201.89	0.019	199.87	0.000	2.02
TOTAL		**1.00**	**63474.3**	**1**	**10566.3**	**1.00**	**52907.95**

Tabel IV.12 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (H-211)

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <35>	63474.26	Aliran <36>	10566.30
		Aliran <37>	52907.95
Total	**63474.26**	**Total**	**63474.26**

6. Bubble Column Reactor (R-210)



Tabel IV.13 Neraca Massa Masuk Bubble Column (R-210)

No	Komponen	MASUK			
		Aliran <38>		Aliran <4>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa
1	CaO	0.000	12.92	0	0
2	Fe_2O_3	0.000	0.65	0	0
3	SiO_2	0.000	16.86	0	0
4	MgO	0.000	0.48	0	0
5	Al_2O_3	0.000	7.16	0	0
6	K_2O	0.000	0.18	0	0
7	Na_2O	0.000	0.11	0	0
8	TiO_2	0.000	0.27	0	0
9	SO_3	0.000	0.84	0	0
10	NH_4Cl	0.068	3117.39	0	0
11	H_2O	0.872	40240.06	0	0

12	$CaCl_2$	0.035	1599.53	0	0
13	NH_4OH	0.022	1008.71	0	0
14	$(NH_4)_2CO_3$	0.000	0.00	0	0
15	$CaCO_3$	0.000	153.99	0	0
16	CH_4	0.000	0.00	0.369	435.43
17	CO_2	0.000	0.00	0.631	745.94
18	H_2S	0.000	0.00	0	0
TOTAL		**1.00**	**46159.15**	**1**	**1181.368164**

Tabel IV.14 Neraca Massa Keluar Bubble Column (R-210)

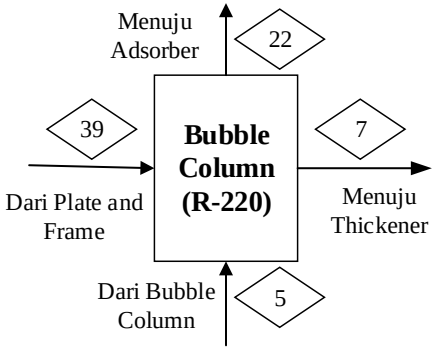
No	**Komponen**	**KELUAR**			
		Aliran <6>		**Aliran <5>**	
		Fraksi Massa	**Massa**	**Fraksi Massa**	**Massa**
1	CaO	0.000	12.92	0	0
2	Fe_2O_3	0.000	0.65	0	0
3	SiO_2	0.000	16.86	0	0
4	MgO	0.000	0.48	0	0
5	Al_2O_3	0.000	7.16	0	0
6	K_2O	0.000	0.18	0	0
7	Na_2O	0.000	0.11	0	0
8	TiO_2	0.000	0.27	0	0
9	SO_3	0.000	0.84	0	0
10	NH_4Cl	0.100	4659.29	0	0
11	H_2O	0.865	40457.22	0.0716	42.22
12	$CaCl_2$	0.000	0.00	0	0
13	NH_4OH	0.000	0.00	0	0
14	$(NH_4)_2CO_3$	0.000	0.00	0	0

15	$CaCO_3$	0.034	1595.01	0	0
16	CH_4	0.000	0	0.739	435.43
17	CO_2	0.000	0	0.190	111.89
18	H_2S	0.000	0	0	0
TOTAL		**1.00**	**46750.98**	**1**	**589.539**

Tabel IV.15 Neraca Massa Bubble Column (R-210)

Massa Masuk (kg)		**Massa Keluar (kg)**	
Aliran <38>	46159.15	Aliran <6>	46750.98
Aliran <4>	1181.37	Aliran <5>	589.54
Total	**47340.52**	**Total**	**47340.52**

7. Bubble Column Reactor



Tabel IV.16 Neraca Massa Masuk Bubble Column (R-220)

No	**Komponen**	**MASUK**			
		Aliran <39>		**Aliran <5>**	
		Fraksi Massa	**Massa**	**Fraksi Massa**	**Massa**

1	CaO	0.000	1.94	0	0
2	Fe_2O_3	0.000	0.10	0	0
3	SiO_2	0.000	2.53	0	0
4	MgO	0.000	0.07	0	0
5	Al_2O_3	0.000	1.07	0	0
6	K_2O	0.000	0.03	0	0
7	Na_2O	0.000	0.02	0	0
8	TiO_2	0.000	0.04	0	0
9	SO_3	0.000	0.13	0	0
10	NH_4Cl	0.067	467.61	0	0
11	H_2O	0.869	6036.01	0.036	42.22
12	$CaCl_2$	0.035	239.93	0	0
13	NH_4OH	0.022	151.31	0	0
14	$(NH_4)_2CO_3$	0.000	0.00	0	0
15	$CaCO_3$	0.007	45.89	0	0
16	CH_4	0.000	0.00	0.796	435.43
17	CO_2	0.000	0.00	0.204	111.89
18	H_2S	0.000	0.00	0	0
TOTAL		**1.00**	**6946.66**	**1.036**	**547.32**

Tabel IV.17 Neraca Massa Keluar Bubble Column (R-220)

No	**Komponen**	**KELUAR**			
		Aliran <7>		**Aliran <22>**	
		Fraksi	**Massa**	**Fraksi**	**Massa**

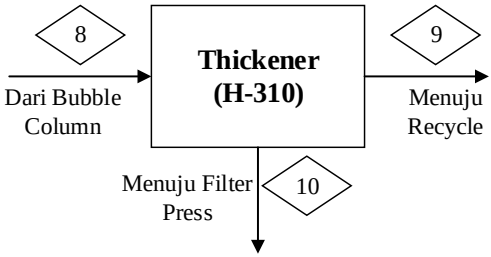
		Massa		Massa	
1	CaO	0.000	1.94	0	0
2	Fe_2O_3	0.000	0.10	0	0
3	SiO_2	0.000	2.53	0	0
4	MgO	0.000	0.07	0	0
5	Al_2O_3	0.000	1.07	0	0
6	K_2O	0.000	0.03	0	0
7	Na_2O	0.000	0.02	0	0
8	TiO_2	0.000	0.04	0	0
9	SO_3	0.000	0.13	0	0
10	NH_4Cl	0.015	698.89	0	0
11	H_2O	0.129	6032.61	0.086	42.304
12	$CaCl_2$	0.000	0.00	0	0
13	NH_4OH	0.000	0.00	0	0
14	$(NH_4)_2CO_3$	0.000	0	0	0
15	$CaCO_3$	0.006	262	0	0
16	CH_4	0.000	0	0.881	435.43
17	CO_2	0.000	0	0.034	16.78
18	H_2S	0.000	0	0	0
TOTAL		**0.15**	**6999.46**	**1**	**494.516**

Tabel IV.18 Neraca Massa Bubble Column (R-220)

Massa Masuk (kg)		**Massa Keluar (kg)**	
Aliran <39>	6946.66	Aliran <7>	6999.46
Aliran <5>	547.32	Aliran <22>	494.52

Total	7493.98	Total	7493.98

8. Thickener (H-310)



Tabel IV.19 Neraca Massa Aliran Masuk Thickener (H-310)

No	Komponen	MASUK	
		Aliran <8>	
		Fraksi	Massa
1	CaO	0.0003	14.854
2	Fe_2O_3	0.0000	0.746
3	SiO_2	0.0004	19.384
4	MgO	0.0000	0.551
5	Al_2O_3	0.0002	8.238
6	K_2O	0.0000	0.212
7	Na_2O	0.0000	0.123
8	TiO_2	0.0000	0.306
9	SO_3	0.0000	0.969
10	NH_4Cl	0.0997	5358.178
11	H_2O	0.8649	46489.831
12	$CaCl_2$	0.0000	0.000
13	NH_4OH	0.0000	0.000

14	$(NH_4)_2CO_3$	0.0000	0.000
15	$CaCO_3$	0.0345	1857.044
16	CH_4	0.0000	0.000
17	CO_2	0.0000	0.000
18	H_2S	0.0000	0.000
TOTAL		**1.00**	**53750.438**

Tabel IV.20 Neraca Massa Aliran Keluar Thickener (H-310)

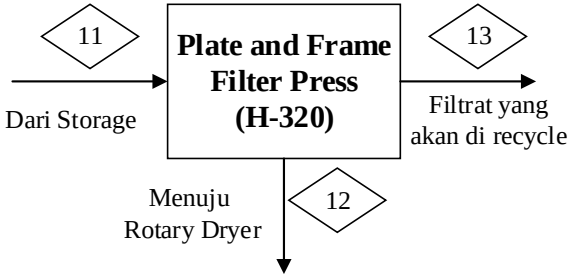
No	**Komponen**	**KELUAR**			
		Aliran <10>		**Aliran <9>**	
		Fraksi	**Massa**	**Fraksi**	**Massa**
1	CaO	0.0031	13.369	0.0000	1.485
2	Fe_2O_3	0.0002	0.672	0.0000	0.075
3	SiO_2	0.0041	17.446	0.0000	1.938
4	MgO	0.0001	0.496	0.0000	0.055
5	Al_2O_3	0.0017	7.414	0.0000	0.824
6	K_2O	0.0000	0.190	0.0000	0.021
7	Na_2O	0.0000	0.110	0.0000	0.012
8	TiO_2	0.0001	0.276	0.0000	0.031
9	SO_3	0.0002	0.872	0.0000	0.097
10	NH_4Cl	0.0620	265.416	0.1029	5092.762
11	H_2O	0.5380	2302.863	0.8932	44186.97
12	$CaCl_2$	0.0000	0.000	0.0000	0.000
13	NH_4OH	0.0000	0.000	0.0000	0.000
14	$(NH_4)_2CO_3$	0.0000	0.000	0.0000	0.000
15	$CaCO_3$	0.3905	1671.340	0.0038	185.704
16	CH_4	0.0000	0.000	0.0000	0.000

17	CO_2	0.0000	0.000	0.0000	0.000
18	H_2S	0.0000	0.000	0.0000	0.000
TOTAL		**1.00**	**4280.4643**	**1.00**	**49469.974**

Tabel IV.21 Neraca Massa Thickener (H-310)

Massa Masuk (kg)		**Massa Keluar (kg)**	
Aliran <8>	53750.44	Aliran <10>	4280.46
		Aliran <9>	49469.97
Total	**53750.44**	**Total**	**53750.44**

9. Plate and Frame Filter Press (H-320)



Tabel IV.22 Neraca Massa Aliran Masuk Plate and Frame Filter Press (H-320)

No	**Komponen**	**MASUK**	
		Aliran <11>	
		Fraksi	**Massa**
1	CaO	0.0031	13.369
2	Fe_2O_3	0.0002	0.672
3	SiO_2	0.0041	17.446

4	MgO	0.0001	0.496
5	Al_2O_3	0.0017	7.414
6	K_2O	0.0000	0.190
7	Na_2O	0.0000	0.110
8	TiO_2	0.0001	0.276
9	SO_3	0.0002	0.872
10	NH_4Cl	0.0620	265.416
11	H_2O	0.5380	2302.863
12	$CaCl_2$	0.0000	0.000
13	NH_4OH	0.0000	0.000
14	$(NH_4)_2CO_3$	0.0000	0.000
15	$CaCO_3$	0.3905	1671.340
16	CH_4	0.0000	0.000
17	CO_2	0.0000	0.000
18	H_2S	0.0000	0.000
TOTAL		**1.00**	**4280.4643**

Tabel IV.23 Neraca Massa Aliran Keluar Plate and Frame Filter Press (H-320)

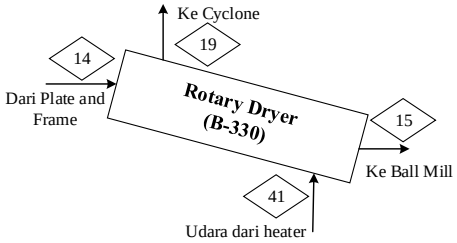
No	**Komponen**	**KELUAR**			
		Aliran <12>		**Aliran <13>**	
		Fraksi	**Massa**	**Fraksi**	**Massa**
1	CaO	0.0070	13.235	0.0001	0.134
2	Fe_2O_3	0.0004	0.665	0.0000	0.007
3	SiO_2	0.0092	17.271	0.0001	0.174
4	MgO	0.0003	0.491	0.0000	0.005

5	Al_2O_3	0.0039	7.340	0.0000	0.074
6	K_2O	0.0001	0.189	0.0000	0.002
7	Na_2O	0.0001	0.109	0.0000	0.001
8	TiO_2	0.0001	0.273	0.0000	0.003
9	SO_3	0.0005	0.864	0.0000	0.009
10	NH_4Cl	0.0102	19.266	0.1026	246.151
11	H_2O	0.0888	167.156	0.8903	2135.71
12	$CaCl_2$	0.0000	0.000	0.0000	0.000
13	NH_4OH	0.0000	0.000	0.0000	0.000
14	$(NH_4)_2CO_3$	0.0000	0.000	0.0000	0.000
15	$CaCO_3$	0.8794	1654.627	0.0070	16.713
16	CH_4	0.0000	0.000	0.0000	0.000
17	CO_2	0.0000	0.000	0.0000	0.000
18	H_2S	0.0000	0.000	0.0000	0.000
TOTAL		**1.00**	**1881.48528**	**1.00**	**2398.979**

Tabel IV.24 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (H-320)

Massa Masuk (kg)		**Massa Keluar (kg)**	
Aliran <11>	4280.46	Aliran <12>	1881.49
		Aliran <13>	2398.98
Total	**4280.46**	**Total**	**4280.46**

10. Rotary Dryer (B-330)



Tabel IV.25 Neraca Massa Aliran Masuk Rotary Dryer (B-330)

No.	Komponen	Masuk			
		Aliran <14>		Aliran <41>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa
1	CaO	0.01	13.24	0	0
2	Fe_2O_3	0.00	0.67	0	0
3	SiO_2	0.01	17.27	0	0
4	MgO	0.00	0.49	0	0
5	Al_2O_3	0.00	7.34	0	0
6	K_2O	0.00	0.19	0	0
7	Na_2O	0.00	0.11	0	0
8	TiO_2	0.00	0.27	0	0
9	SO_3	0.00	0.86	0	0
10	NH_4Cl	0.01	19.27	0	0
11	H_2O	0.09	167.16	0.02152642	108.404
12	$CaCO_3$	0.88	1654.63	0	0
13	N_2	0.00	0.00	0.763	3843.402
14	CO_2	0.00	0.00	0.010	49.274
15	O_2	0.00	0.00	0.205	1034.762
TOTAL		**1.00**	**1881.49**	**1**	**5035.842416**

Tabel IV.26 Neraca Massa Aliran Keluar Rotary Dryer (B-330)

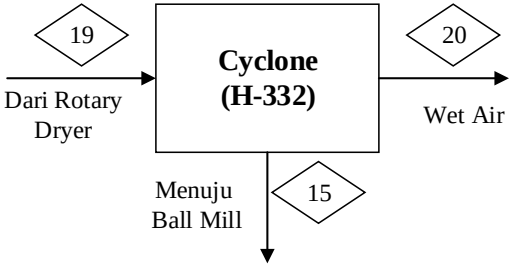
No.	Komponen	Keluar			
		Aliran <15>		Aliran <19>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa
1	CaO	0.01	13.10	0.0000254	0.132
2	Fe_2O_3	0.00	0.66	0.0000013	0.007
3	SiO_2	0.01	17.10	0.0000331	0.173
4	MgO	0.00	0.49	0.0000009	0.005
5	Al_2O_3	0.00	7.27	0.0000141	0.073
6	K_2O	0.00	0.19	0.0000004	0.002
7	Na_2O	0.00	0.11	0.0000002	0.001
8	TiO_2	0.00	0.27	0.0000005	0.003
9	SO_3	0.00	0.85	0.0000017	0.009
10	NH_4Cl	0.01	19.07	0.0000369	0.193
11	H_2O	0.0022	3.76	0.052	271.80
12	$CaCO_3$	0.96	1638.08	0.003	16.546
13	N_2	0.00	0.00	0.737	3843.402
14	CO_2	0.00	0.00	0.009	49.274
15	O_2	0.00	0.00	0.198	1034.762
TOTAL		**1.00**	**1700.95**	**1.00**	**5216.38**

Tabel IV.27 Neraca Massa Rotary Dryer (B-330)

Massa Masuk		Massa Keluar	
Aliran <14>	1881.49	Aliran <15>	1700.95

Aliran <41>	5035.84	Aliran <19>	5216.38
Total	**6917.33**	**Total**	**6917.33**

11. Cyclone (H-332)



Tabel IV.28 Neraca Massa Cyclone (H-332)

No.	Komponen	Masuk		Keluar	
		Aliran <19>		Aliran <15>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa
1	CaO	0.0000254	0.132	0.0000254	0.132
2	Fe_2O_3	0.0000013	0.007	0.0000013	0.007
3	SiO_2	0.0000331	0.173	0.0000331	0.173
4	MgO	0.0000009	0.005	0.0000009	0.005
5	Al_2O_3	0.0000141	0.073	0.0000141	0.073
6	K_2O	0.0000004	0.002	0.0000004	0.002
7	Na_2O	0.0000002	0.001	0.0000002	0.001
8	TiO_2	0.0000005	0.003	0.0000005	0.003
9	SO_3	0.0000017	0.009	0.0000017	0.009
10	NH_4Cl	0.0000369	0.193	3.6933E-05	0.193
11	H_2O	0.0521045	271.797	0	0

12	$CaCO_3$	0.0031720	16.546	0.00317198	16.546
13	N_2	0.736	3843.402	0	0
14	CO_2	0.00944	49.274	0	0
15	O_2	0.1983	1034.762	0	0
TOTAL		**1.00**	**5216.38**	**0.0032864**	**17.14**

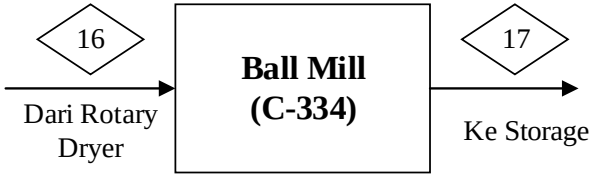
Tabel IV.29 Neraca Massa Aliran Keluar Cyclone (H-332)

No.	**Komponen**	**Keluar**	
		Aliran <20>	
		Fraksi Massa	**Massa**
1	CaO	0	0
2	Fe_2O_3	0	0
3	SiO_2	0	0
4	MgO	0	0
5	Al_2O_3	0	0
6	K_2O	0	0
7	Na_2O	0	0
8	TiO_2	0	0
9	SO_3	0	0
10	NH_4Cl	0	0
11	H_2O	0.0521045	271.797
12	$CaCO_3$	0.0000000	0.000
13	N_2	0.7368	3843.40
14	CO_2	0.0094	49.27
15	O_2	0.1984	1034.76
TOTAL		**1.00**	**5199.24**

Tabel IV.30 Neraca Massa Cyclone (H-332)

Massa Masuk		Massa Keluar	
Aliran <19>	5216.38	Aliran <15>	17.14
		Aliran <20>	5199.24
Total	**5216.38**	**Total**	**5216.38**

12. Ball Mill (C-334)

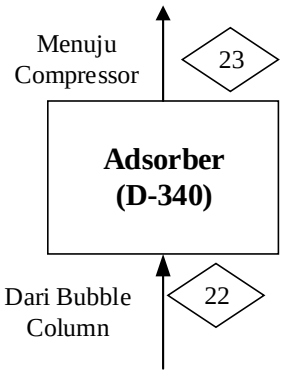


Tabel IV.31 Neraca Massa Ball Mill (C-334)

No.	Komponen	MASUK		KELUAR	
		Aliran <16>		Aliran <17>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa
1	CaO	0.01	13.10	0.01	13.10
2	Fe_2O_3	0.00	0.66	0.0004	0.66
3	SiO_2	0.01	17.10	0.01	17.10
4	MgO	0.00	0.49	0.000286	0.49
5	Al_2O_3	0.00	7.27	0.00427	7.27
6	K_2O	0.00	0.19	0.00011	0.19
7	Na_2O	0.00	0.11	0.00006	0.11
8	TiO_2	0.00	0.27	0.00	0.27

9	SO_3	0.00	0.85	0.00	0.85
10	NH_4Cl	0.00	19.07	0.00	19.07
11	H_2O	0.00	3.76	0.00	3.76
12	$CaCO_3$	0.98	1638.08	0.98	1638.08
13	N_2	0.00	0.00	0.00	0.00
14	CO_2	0.00	0.00	0.00	0.00
15	O_2	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		**1.00**	**1700.95**	**1.00**	**1700.95**

13. Adsorber (D-340)



Tabel IV.32 Neraca Massa Aliran Masuk Adsorber (D-340)

No	Komponen	MASUK	
		Aliran <22>	
		Fraksi Massa	Massa

1	H_2O	0.0855	42.3037
2	CH_4	0.881	435.43
3	CO_2	0.034	16.78
4	H_2S	0	0
TOTAL		**1**	**494.516**

Tabel IV.33 Neraca Massa Aliran Keluar Adsorber (D-340)

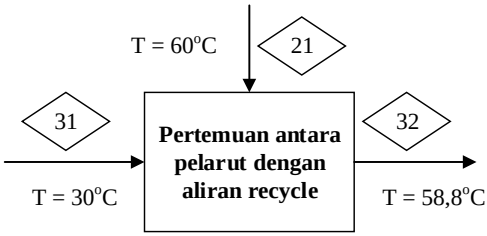
No	Komponen	KELUAR			
		Air yang terserap		Aliran <23>	
		Fraksi Massa	Massa	Fraksi Massa	Massa
1	H_2O	1.000	41.03	0.003	1
2	CH_4	0.000	0	0.960	435.43
3	CO_2	0.000	0	0.037	16.78
4	H_2S	0.000	0	0	0
TOTAL		**1.00**	**41.03**	**1.00**	**453.481**

Tabel IV.34 Neraca Massa Adsorber (D-340)

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)	
Aliran <22>	494.52	Air	41.03
		Aliran <23>	453.48
Total	**494.52**	**Total**	**494.52**

IV.2 NERACA ENERGI

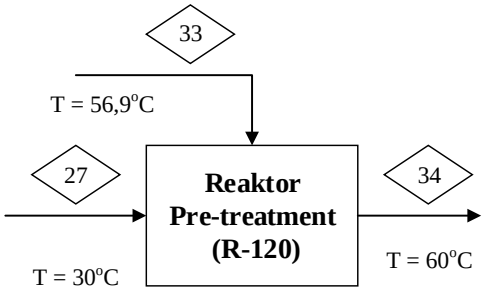
1. Recycle NH4Cl



Tabel IV.35 Neraca Energi Recycle NH4Cl

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)
1	ΔHin	7208833	ΔHout	7208833
TOTAL		**7208833**		**7208833**

2. Reaktor Pretreatment (R-120)

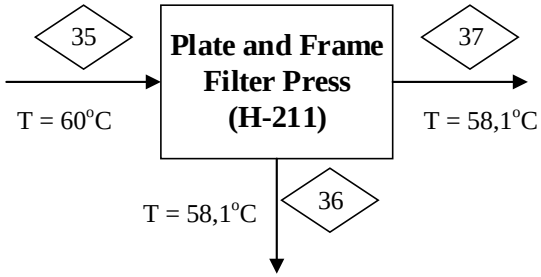


Tabel IV.36 Neraca Energi Recycle NH4Cl

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)
1	ΔH_{in}	7229816	ΔH_{out}	7978453
2	ΔH_{jacket}	22908528	ΔH_r	22159891

TOTAL	**30138344**	**30138344**

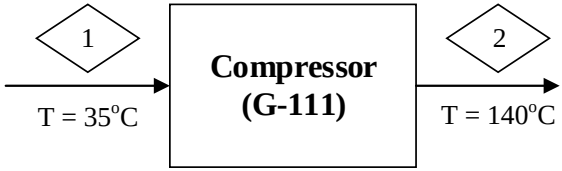
3. Plate and Frame Filter Press (H-211)



Tabel IV.37 Neraca Energi *Plate and Frame Filter Press* (H-211)

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)
1	ΔHin	7973295	ΔHout	7574631
2			Q loss	398665
	TOTAL	**7973295**		**7973295**

4. Compressor (G-111)

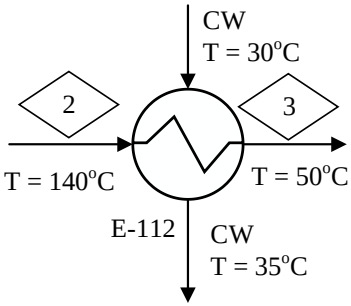


Tabel IV.38 Neraca Energi *Compressor* (G-111)

No	Energi Aliran	Energi	Energi Aliran	Energi

	Masuk	(kJ/jam)	Keluar	(kJ/jam)
1	ΔH_{in}	16451	ΔH_{out}	195978
2	W	179527		
	TOTAL	**195978**		**195978**

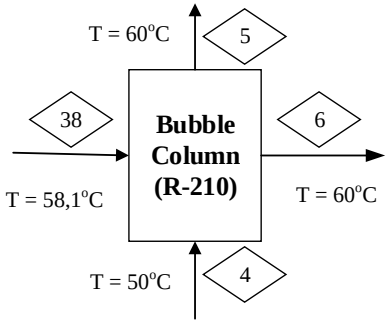
5. Cooler (E-112)



Tabel IV.39 Neraca Energi *Cooler* (E-112)

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)
1	ΔHin	196012697	ΔHout	40863263
2	ΔHin water	160343859	ΔHout water	315493293
	TOTAL	**356356556**		**356356556**

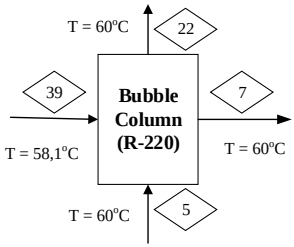
6. Bubble Column Reactor (R-210)



Tabel IV.40 Neraca Energi *Bubble Column Reactor* (R-210)

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)
1	ΔH_{in}	5878039	ΔH_{out}	6398427
2	ΔH_{jacket}	-3468446	ΔH_r	-3988834
	TOTAL	**2409593**		**2409593**

7. Bubble Column Reactor (R-220)

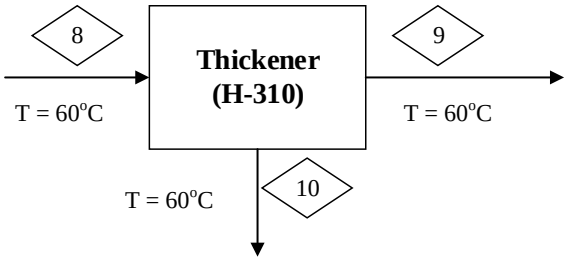


Tabel IV.41 Neraca Energi *Bubble Column Reactor* (R-220)

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)

1	ΔH_{in}	963741	ΔH_{out}	963874
2	ΔH_{jacket}	-655179	ΔH_r	-655312
	TOTAL	**308562**		**308562**

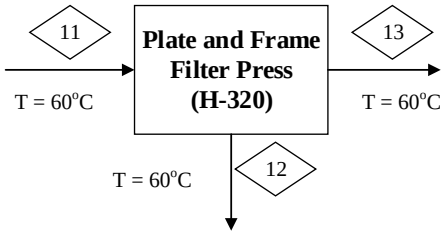
8. Thickener (H-310)



Tabel IV.42 Neraca Energi *Thickener* (H-310)

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)
1	ΔH_{in}	7154779	ΔH_{out}	7154779
	TOTAL	**7154779**		**7154779**

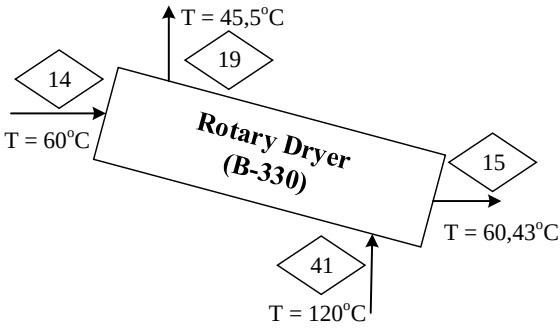
9. Plate and Frame Filter Press (H-320)



Tabel IV.43 Neraca Energi *Plate and Frame Filter Press* (H-320)

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)
1	ΔH_{in}	362384	ΔH_{out}	344265
2			Q_{loss}	18119
	TOTAL	**362384**		**362384**

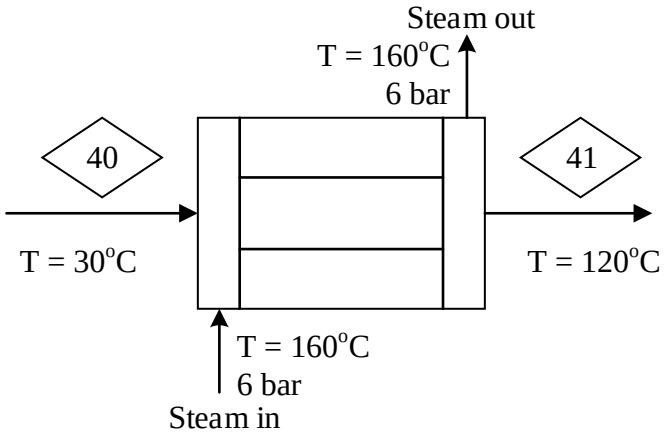
10. Rotary Dryer (B-330)



Tabel IV.44 Neraca Energi *Rotary Dryer* (B-330)

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)
1	ΔH_{in}	1038987	ΔH_{out}	1038987
	TOTAL	**1038987**		**1038987**

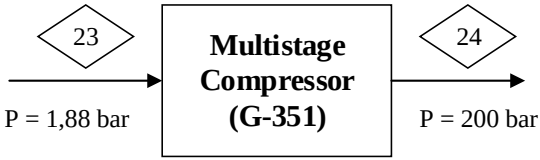
11. Heater (E-337)



Tabel IV.45 Neraca Energi *Heater* (E-337)

No	Energi Aliran Masuk	Energi (kJ/jam)	Energi Aliran Keluar	Energi (kJ/jam)
1	ΔH_{in}	27217	ΔH_{out}	1428084
2	$\Delta H_{in\ steam}$	1855288	$\Delta H_{out\ steam}$	454422
	TOTAL	**1882506**		**1882506**

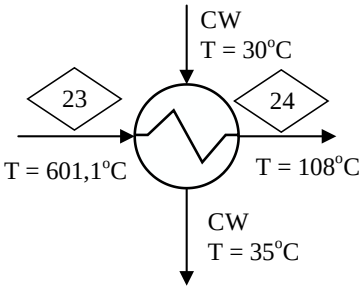
12. Multistage Compressor (G-351)



Tabel IV.46 Neraca Energi *Multistage Compressor* (G-351)

No	Komponen	BM	Massa	ΔH in	W	ΔH out
		(Kg/Kmol)	(Kg)	(kJ/jam)	(kJ/jam)	(kJ/jam)
1	CH_4	16.04	380.92	-2038000.00	126000.00	-1912000
2	CO_2	44.01	14.68			
3	H_2O	18	4.23			
TOTAL				**-1912000.00**		**-1912000**

13. Intercooler Multistage Compressor (G-351)



Tabel IV.47 Neraca Energi *Intercooler Multistage Compressor* (G-351)

No	Komponen	BM	Massa	ΔH in	W	ΔH out
		(Kg/Kmol)	(Kg)	(kJ/jam)	(kJ/jam)	(kJ/jam)

1	CH_4	16.04	380.92	-1925000.00	-115000.00	-2040000
2	CO_2	44.01	14.68			
3	H_2O	18	4.23			
TOTAL				**-2040000.00**		**-2040000**

BAB V

DAFTAR DAN HARGA PERALATAN

1. Soil Laterite Fixed Bed (D-110)

Tabel V.1 Spesifikasi Soil Laterite Fixed Bed (D-110)

Kesimpulan Spesifikasi Alat						
Spesifikasi	:	Soil Laterite Fixed Bed (D-110)				
Material	:	SA 167 type 304 grade 3				
Jumlah	:	2	unit			
Fungsi	:	Menghilangkan kandungan H_2S yang terkandung pada aliran biogas				
Tipe	:	Silinder packing dengan tutup atas dan bawah berbentuk *dish head*				
Jenis Sambungan	:	*Double welded butt joint*				
OD	:	126	in	=	3,20	m
ID	:	123,27	in	=	3,13	m
H bed	:	591,70	in	=	15,03	m
Tinggi shell	:	739,63	in	=	18,79	m
Tebal Shell	:	7/16	in	=	0,011	m
Tebal tutup atas	:	3/8	in	=	0,0095	m
Straight flange (sf)	:	2	in	=	0,051	m
Tinggi tutup atas	:	23,83	in	=	0,605	m
Tebal tutup bawah	:	3/8	in	=	0,0095	m
Tinggi tutup bawah	:	23,83	in	=	0,605	m

Tinggi tangki total	:	787,29	in	=	19,99	m
Tebal grid support	:	3/16	in	=	0,0048	m
Harga	:	US$ 661.543				

2. Compressor (G-111)

Tabel V.2 Spesifikasi Compressor (G-111)

Kesimpulan Spesifikasi Alat					
Nama Alat	:	Biogas Compressor			
Kode Alat	:	G-111			
Type	:	*Centrifugal compressor*			
Fungsi	:	Menaikkan tekanan biogas menuju fixed bed			
Jumlah compressor	:	1 buah Compressor			
Kondisi operasi	:	$P_{suction}$	=	1	atm
	:	$P_{discharge}$	=	2.645	atm
Jumlah stage	:	1	Stage		
Bahan	:	*Cast Iron*			
Kapasitas	:	1196,5	kg/jam		
mechanical Efisiensi	:	75%	%		
Power	:	60,7	kW		
Harga	:	US$ 75.194			

3. Cooler (E-112)

Tabel V.3 Spesifikasi Cooler (E-112)

Kesimpulan Spesifikasi Alat				
Fungsi	Menurunkan suhu udara biogas setelah dari compressor			
Tipe	DPHE			
Bahan	Carbon Steel SA-129 A			
Suhu Masuk	Gas	=	139	ºC
	Cooling water	=	30	ºC
Suhu Keluar	Gas	=	50	ºC
	Cooling water	=	35	ºC
Ukuran	4 by 3 in sch 40			
	D2	=	4,026	In
	D1	=	3,5	In
	D	=	3,07	In
Rd	0.00237	hr.ft2.ºF/Btu		
Luas Area	176	ft^2		
Jumlah Alat	1	Unit		
Harga	1.557	US$		

4. Pre-treatment Tank (R-120)

Tabel V.4 Spesifikasi Pre-treatment Tank (R-120)

Kesimpulan Spesifikasi Alat

Nama alat : Pre-treatment Tank

Kode Alat	:	R-120
Fungsi Alat	:	Ekstraksi CaO dalam Steel Slag
Tipe	:	Silinder tegak dengan tutup atas *standard dished head* dan tutup bawah berbentuk *conical*
Kapasitas	:	60,60 ft^3 = 1,72 m^3
Bahan Konstruksi	:	*Carbon steel* SA-283 grade C
Jumlah tangki	:	1 Unit

Spek. Tangki :	- Diameter (OD)	=	48	in	=	14,63	m
	- Diameter (ID)	=	47,63	in	=	14,52	m
	- Tinggi shell	=	71,44	in	=	21,77	m
	- Tinggi tutup atas	=	7,24	in	=	2,21	m
	- Tinggi tutup bawah	=	7,24	in	=	2,21	m
	- Tebal shell	=	3/16	in	=	0.06	m
	- Tebal tutup atas	=	3/16	in	=	0.06	m
	- Tebal tutup bawah	=	3/16	in	=	0.06	m

Spek. Nozzle Aliran Utama :	Jenis	=	pipa 6	in
	Outside diameter of flange (A)	=	11	in
	Thickness of flange minimum (T)	=	1	in
	Outside diameter of raised face (R)	=	8,5	in

	Diameter of hub at base (E)	=	7,56	In
	Diameter of hub at point of welding (K)	=	6,63	In
	Length through hub (L)	=	3 ½	In
	Inside diameter of standard wall pipe (B)	=	6,07	In
Spek. Nozzle Aliran NH_4Cl :	Jenis	=	pipa 6	in
	Outside diameter of flange (A)	=	11	in
	Thickness of flange minimum (T)	=	1	in
	Outside diameter of raised face (R)	=	8,5	in
	Diameter of hub at base (E)	=	7,56	in
	Diameter of hub at point of welding (K)	=	6,63	in
	Length through hub (L)	=	3 ½	in
	Inside diameter of standard wall pipe (B)	=	6,07	in

Spek. Pengaduk :	- Jenis	=	*pitched blade turbine*				
	- Jumlah	=	1	Unit			
	- Diameter	=	1,19	ft	=	0,36	M
	- Lebar *blade* (W)	=	0,24	ft	=	0,07	m
	- Panjang *blade* (L)	=	0,30	ft	=	0,09	m
	- Lebar *Baffle* (J)	=	0,33	ft	=	0,10	m
	- Power	=	0,02	Hp			

Suhu steam untuk pemanas : 408 °C

Harga : US$ 144.402

5. Gudang Penyimpanan Steel Slag (F-121)

Tabel V.5 Spesifikasi Gudang Penyimpanan Steel Slag (F-121)

Kesimpulan Spesifikasi Alat									
Tipe	=	Bangunan balok							
Jumlah Gudang	=	1	buah						
Kapasitas	=	367276	ft^3						
Ukuran	=	Panjang	=	49,654	ft	=	15,135	m	
		Lebar	=	24,827	ft	=	7,5673	m	
		Tinggi	=	37,241	ft	=	11,351	m	
Bahan konstruksi	=	Batu bata dan semen							
Harga	=	US$ 48.086							

6. Belt Conveyor Steel Slag (J-122)

Tabel V.6 Spesifikasi Belt Conveyor Steel Slag (J-122)

Kesimpulan Spesifikasi Alat								
Lebar belt	=	14	in		=	36	cm
Tinggi skrit plate	=	7	in		=	18	cm
Kecepatan normal conveying (u)	=	200		ft/menit	=	3	ft/s
Kemiringan	=	15	^{o}				
Kapasitas Maksimum	=	32	ton/jam				

Best plies minimum	=	3	buah
Power	=	0,307	Hp
Ukuran lump maksimum	=	3	in
Harga	=	US$ 16.403	

7. Ball Mill (C-123)

Tabel V.7 Spesifikasi Ball Mill (C-123)

Kesimpulan Spesifikasi Alat				
No Kode	C-123			
Fungsi	Memperkecil ukuran *steel slag*			
Type	Marcy ball mill			
Bahan Konstruksi	Cast Iron			
Dimensi	Diameter Bahan Masuk	=	3	mm
	Diameter Bahan Keluar	=	0,002	mm
	Power	=	662,47	kW
	Diameter bola	=	16,311	cm
	Kecepatan kritis	=	23,111	rpm
Kapasitas	5564 kg/jam			
Kondisi Operasi	Suhu = 30 °C			
	Tekanan = 1 atm			
Jumlah	1 unit			
Harga	US$ 43.680			

8. Screw Conveyor (J-124)

Tabel V.8 Spesifikasi Screw Conveyor (J-124)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	:	*Screw Conveyor*
Kode Alat	:	J-124
Fungsi Alat	:	Memindahkan Steel Slag ke CSTR R-120
Diameter conveyor	:	9 in
Jarak tempuh conveyor	:	4 m
Material Classification	:	*II G,H,J*
Tipe Bearing Digunakan	:	*Sealmaster Bearing*
Rotasi Screw	:	36,436 rpm
Power Dibutuhkan	:	0.244 hp
Jumlah	:	1
Harga	:	US$ 4.191

9. NH_4Cl Storage (F-125)

Tabel V.9 Spesifikasi NH_4Cl Storage (F-125)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	NH_4Cl Storage	
Kode Alat	F-125	
Fungsi Alat	Menampung NH_4Cl sebelum tangki *pretreatment*	
Tipe alat	Silinder tegak dengan tutup atas *conical* dan tutup bawha datar	
Kapasitas	20560 barrel	3266 m^3
Bahan	*Carbon steel* SA-283 grade C	
ID silinder	70 ft	

Tinggi silinder	30 ft	
Jumlah course	5	
Jumlah tangki	1 unit	
Tebal Course 1	1 5/8 in	
Tebal Course 2	1 3/8 in	
Tebal Course 3	1 in	
Tebal Course 4	3/4 in	
Tebal Course 5	4/9 in	
Tinggi tutup atas	9,38 ft	2,86 m
Tebal tutup atas	2 ½ in	0,21 ft
Nozzle Aliran Utama	OD	1,7 in
	Jenis Pipa	1,25 in sch 40
Harga	US$ 230.852	

10. NH_4Cl Pump (L-126)

Tabel V.10 Spesifikasi NH_4Cl Pump (L-126)

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	Pre-treatment Pump	
Kode Alat	:	L-126	
Fungsi Alat	:	Memompa NH_4Cl dari storage	
Tipe	:	*Positive displacement pump*	
Bahan	:	*Cast iron*	
Kapasitas	:	57910	kg/jam
Pipa	:	Pipa 5 in sch 40	
Power	:	1,53	hp
Head	:	4,71	m
Jumlah	:	1	unit
Harga	:	US$ 49.691	

11. Pre-treatment Pump (L-127)

Tabel V.11 Spesifikasi Pre-treatment Pump (L-127)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	:	Pre-treatment Pump
Kode Alat	:	L-127
Fungsi Alat	:	Memompa larutan $CaCl_2$ dan NH_4OH ke Plate and Frame Filter Press
Tipe	:	*Centrifugal pump*
Bahan	:	*Cast iron*
Kapasitas	:	63474 kg/jam
Pipa	:	Pipa 6 in sch 40
Power	:	13,0 hp
Head	:	40,6 m
Jumlah	:	1 unit
Harga	:	US$ 54.121

12. Tangki Pelarutan (M-128)

Tabel V.12 Spesifikasi Tangki Pelarutan (M-128)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama alat	:	Tangki Pelarutan
Kode Alat	:	M-128
Fungsi Alat	:	Melarutkan NH_4Cl
Tipe	:	Silinder tegak dengan tutup atas *standard dished head* dan tutup bawah berbentuk *conical*

Kapasitas	:	45,74	ft^3	=	1,29	m^3		
Bahan Konstruksi	:	*Carbon steel* SA-283 grade C						
Jumlah tangki	:	1 Unit						
		- Diameter (OD)	=	40	in	=	12,19	m
		- Diameter (ID)	=	39,63	in	=	12,08	m
		- Tinggi shell	=	59,44	in	=	18,12	m
		- Tinggi tutup atas	=	6,59	in	=	2,01	m
Spek. Tangki	:	- Tinggi tutup bawah	=	6,59	in	=	2,01	m
		- Tebal shell	=	3/16	in	=	0.06	m
		- Tebal tutup atas	=	1/4	in	=	0.08	m
		- Tebal tutup bawah	=	1/4	in	=	0.08	m
		Jenis				=	pipa 2 in	
		Outside diameter of flange (A)				=	6	in
		Thickness of flange minimum (T)				=	0,75	in
Spek. Nozzle Aliran Utama	:	Outside diameter of raised face (R)				=	3,625	in
		Diameter of hub at base (E)				=	3,0625	in
		Diameter of hub at point of welding (K)				=	2,38	in
		Length through hub (L)				=	2,5	in
		ID of standard wall pipe (B)				=	2,07	in
		Jenis				=	pipa 2 in	
		Outside diameter of flange (A)				=	6	in
		Thickness of flange minimum (T)				=	0,75	in
Spek. Nozzle Aliran NH_4Cl	:	Outside diameter of raised face (R)				=	3,625	in
		Diameter of hub at base (E)				=	3,0625	in
		Diameter of hub at point of welding (K)				=	2,38	in
		Length through hub (L)				=	2,5	in
		ID standard wall pipe (B)				=	2,07	in

Spek. Pengaduk	:	- Jenis	=	*pitched blade turbine*					
		- Jumlah	=	2	Unit				
		- Diameter	=	0,99	ft	=	0,30	m	
		- Lebar *blade* (W)	=	0,20	ft	=	0,06	m	
		- Panjang *blade* (L)	=	0,25	ft	=	0,08	m	
		- Lebar *Baffle* (J)	=	0,28	ft	=	0,08	m	
		- Power	=	0,01	Hp				
Harga	:	US$ 100.000							

13. Bubble Column Reactor (R-210)

Tabel V.13 Spesifikasi Bubble Column Reactor (R-210)

Kesimpulan Spesifikasi Alat

Alat	**Reaktor**									
Kode	R-210									
Fungsi	Sebagai tempat mereaksikan CO_2 dengan $CaCl_2$ dan NH_4OH untuk menghasilkan PCC									
Tipe	Bubble reactor									
Dimensi	Diameter shell (D)	=	96	in	=	8	ft	=	2,44	m
	Tinggi shell (H)	=	270,8	in	=	22,6	ft	=	6,88	m
	Tebal shell (ts)	=	3/8	in	=	0,03	ft	=	0,0095	m
	Tebal head (th)	=	1/2	in	=	0,04	ft	=	0,0127	m
	Depth of dish (b)	=	15,808	in	=	1,32	ft	=	0,4015	m
	Tinggi head (OA)	=	19,308	in	=	1,61	ft	=	0,4904	m
	Inside corner radius	=	6 1/2	in	=	0,54	ft	=	0,1651	m
	Crown radius	=	102	in	=	8,5	ft	=	2,5908	m

	Straight flange	=	3	in	=	0,25	ft	=	0,0762	m
	Sparger ring	=	0,9172	in	=	0,08	ft	=	0,0233	m
	Luas plate sparger	=	1023,5	in²	=	7,11	ft²	=	0,6603	m²
	Diameter hole	=	0,5	in	=	0,04	ft	=	0,0127	m
	Triangular pitch	=	1	in	=	0,08	ft	=	0,0254	m
	Jumlah hole	=	12792							
Tekanan Desain	45,852					psi				
Bahan Konstruksi	High Alloy Steel SA-240 grade M Type 316									
Jumlah	1 buah									
Harga	US$ 174.695									

14. Plate and Frame (H-211)

Tabel V.14 Spesifikasi Plate and Frame (H-211)

Kesimpulan Spesifikasi alat					
Nama Alat	:	Plate and Frame Filter Press			
Kode Alat	:	H-211			
Fungsi	:	Memisahkan residu steel slag dengan NH_4OH dan $CaCl_2$			
Tipe	:	*Horizontal plate & frame*			
Bahan Plate	:	*Cast Iron*			
Dimensi	:	Luas filter	:	5	m²
		Jumlah frame	:	15	buah
		Jumlah plate	:	14	buah
Jumlah cake/siklus	:	10567,81 kg			
Waktu tinggal	:	2 jam			

Jumlah Alat	:	4	buah
Ws	:	0,42	kWh
Harga	:	US$ 867.229	

15. Filter Press Pump (L-212)

Tabel V.15 Spesifikasi Filter Press Pump

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	Pompa Filter Press	
Kode Alat	:	L-212	
Fungsi Alat	:	Mengalirkan Sludge dari Plate and Frame ke R-210	
Tipe	:	*Positive Displacement Pump*	
Bahan	:	*Cast iron*	
Kapasitas	:	46284,9	kg/jam
Pipa	:	Pipa 5 in sch 40	
Power	:	1,81	hp
Head	:	7,5	m
Jumlah	:	1	unit
Harga	:	US$ 39.393	

16. Bubble Column Reactor (R-220)

Tabel V.16 Spesifikasi Bubble Column Reactor (R-220)

Kesimpulan Spesifikasi Alat	
Alat	**Reaktor**
Kode	R-220
Fungsi	Sebagai tempat mereaksikan CO_2 dengan $CaCl_2$ dan NH_4OH untuk menghasilkan PCC
Tipe	Bubble reactor

Dimensi	Diameter shell (D)	=	48	in	=	4	ft	=	1,219	m
	Tinggi shell (H)	=	129,8	in	=	10,8	ft	=	3,296	m
	Tebal shell (ts)	=	1/4	in	=	0,02	ft	=	0,006	m
	Tebal head (th)	=	5/16	in	=	0,03	ft	=	0,008	m
	Depth of dish (b)	=	8,07	in	=	0,67	ft	=	0,205	m
	Tinggi head (OA)	=	11,382	in	=	0,95	ft	=	0,289	m
	Inside corner radius	=	3	in	=	0,25	ft	=	0,076	m
	Crown radius	=	48	in	=	4	ft	=	1,219	m
	Straight flange	=	3	in	=	0,25	ft	=	0,076	m
	Sparger ring	=	0,4395	in	=	0,04	ft	=	0,011	m
	Luas plate sparger	=	235,05	in^2	=	1,63	ft^2	=	0,152	m
	Diameter hole	=	0,5	in	=	0,04	ft	=	0,013	m
	Triangular pitch	=	1	in	=	0,08	ft	=	0,025	m
	Jumlah hole	=	2938							
Tekanan Desain	38,575					psi				
Bahan Konstruksi	High Alloy Steel SA-240 grade M Type 316									
Jumlah	1 buah									
Harga	US$ 49.691									

17. *Bubble Column Pump* (L-221)

Tabel V.17 Spesifikasi *Bubble Column Pump* (L-221)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	:	*Bubble Column Pump*

Kode Alat	:	L-221	
Fungsi Alat	:	Mengalirkan Sludge dari R-210 ke Thickener	
Tipe	:	*Centrifugal Pump*	
Bahan	:	*Cast iron*	
Kapasitas	:	699,5	kg/jam
Pipa	:	Pipa 2 in sch 40	
Power	:	0,19	hp
Head	:	2,9	m
Jumlah	:	1	unit
Harga	:	US$ 15.326	

18. Thickener (H-310)

Tabel V.18 Spesifikasi Thickener (H-310)

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	*Thickener*	
Kode Alat	:	H-310	
Fungsi Alat	:	Memisahkan liquid (H_2O dan NH_4Cl) dengan solid PCC	
Tipe	:	*Circular*	
Bahan	:	*Carbon Steel*	
Kapasitas	:	53750	kg/jam
Tinggi	:	10	m
Diameter	:	3,99	m
Daya	:	0,2	hp
Waktu Tinggal	:	0,197	jam
Harga	:	US$ 34.484	

19. Thickener Pump (L-311)

Tabel V.19 Spesifikasi Thickener Pump (L-311)

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	*Thickener pump*	
Kode Alat	:	L-311	
Fungsi Alat	:	Mengalirkan Sludge dari R-210 ke Thickener	
Tipe	:	*Centrifugal Pump*	
Bahan	:	*Cast iron*	
Kapasitas	:	46751	kg/jam
Pipa	:	Pipa 5 in sch 40	
Power	:	0,74	hp
Head	:	2,8	m
Jumlah	:	1	unit
Harga	:	US$ 43.584	

20. Recycle Tank (F-312)

Tabel V.20 Spesifikasi Recycle Tank (F-312)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama alat	:	Recycle NH_4Cl Storage Tank
Kode Alat	:	F-312
Fungsi Alat	:	Menampung aliran overflow dari Thickener da Plate and Frame Filter Press yang akan di recycle ke Reaktor NH_4Cl
Tipe	:	Silinder tegak dengan tutup atas conical dan tutup bawah flat bottomed

Kapasitas	:	65800	barrel		=	369401	ft3
Bahan Konstruksi	:	*Carbon steel* SA-283 grade C					
Jumlah tangki	:	1	unit				
ID shell	=	140	ft				
Tinggi silinder	=	24	ft				
Jumlah course	=	4					
Jumlah tangki	=	1	unit				
Tebal Course 1	=	2 1/4	in				
Tebal Course 2	=	1 5/8	in				
Tebal Course 3	=	1 1/8	in				
Tebal Course 4	=	5/8	in				
Tinggi tutup atas	=	18,76	ft				
	=	5,72	m				
Tebal tutup atas	=	3		in			
	=	0,25		ft			
	=	0,076		m			
Spek. Nozzle Aliran Utama			:	- Diameter (OD)	=	4,5	in
				- Jenis pipa	=	Pipa 4 in sch 40	
Harga	=	US$ 395.250					

21. Plate and Frame Filter Press (H-320)

Tabel V.21 Spesifikasi Plate and Frame Filter Press (H-320)

Kesimpulan Spesifikasi alat					
Nama Alat	:	Plate and Frame Filter Press			
Kode Alat	:	H-320			
Fungsi	:	Memisahkan residu steel slag dengan NH_4OH dan $CaCl_2$			
Tipe	:	*Horizontal plate & frame*			
Bahan					
Plate	:	*Cast Iron*			
Dimensi	:	Luas filter	:	3,2	m^2
		Jumlah frame	:	10	buah
		Jumlah plate	:	9	buah
Jumlah cake/siklus	:	3762,64 kg			
Waktu tinggal	:	2 jam			
Jumlah Alat	:	2 buah			
Harga	:	US$ 171.105			

22. Slurry Storage (F-312)

Tabel V.22 Spesifikasi Surry Storage (F-312)

Nama Alat	Slurry Storage (F-312)	
Fungsi	Menampung *overflow* dari Thickener yang dialirkan menuju Plate and Frame Filter Press	
Tipe	Silider tegak dengan tutup atas *standard dished head* dan tutup bawah datar	
Kapasitas	250 barel	39,72 m^3
Bahan	*Carbon Steel* SA-283 Grade C	

ID Silinder	10 ft	
Tinggi Silinder	18 ft	
Jumlah Course	3	
Jumah Tangki	1 unit	
Tebal Course 1	5/16 in	
Tebal Course 2	4/16 in	
Tebal Course 3	3/16 in	
Tinggi tutup atas	1,7 ft	0,52 m
Tebal tutup atas	1/4 in	0,006 m
Spek. Pengaduk	Jenis	*Pitched blade turbine* 45°
	Jumlah	2 unit
	Diameter	0,91 m
	Lebar (W)	0,18 m
	Panjang (L)	0,23 m
	Lebar *Baffle* (J)	0,25 m
	Power	3,12 hp

23. Underflow Pump (L-322)

Tabel V.23 Spesifikasi Underflow Pump (L-322)

Kesimpulan Spesifikasi		
Alat		
Nama Alat	:	Pompa Filter Press
Kode Alat	:	L-321
Fungsi Alat	:	Memompa endapan PCC menuju Plate and Frame Filter Press
Tipe	:	*Centrifugal*

		Pump
Bahan	:	*Cast Iron*
Kapasitas	:	4280,5 kg/jam
		Pipa size 1 1/2 inch
Pipa	:	sch 40
Power	:	0.0094 hp
Head	:	1,2539 m
Jumlah	:	1 unit
Harga	:	US$ 73.638

24. Rotary Dryer (B-330)

Tabel V.24 Spesifikasi Rotary Dryer (B-330)

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	Rotary Dryer	
Kode Alat	:	B-330	
Fungsi Alat	:	Mengeringkan PCC setelah dari Plate and Frame Filter Press	
Tipe	:	Direct Continous Rotary Dryer	
Bahan	:	*Carbon Steel*	
Kapasitas	:	4147,96	lb/jam
Panjang	:	22	m
Diameter	:	2,087	m
Tebal	:	3/16	in
Putaran	:	6	rpm
Jumlah flight	:	3	
Tinggi flight	:	0.261	m
Jarak antar flight	:	2.184	m
Kemiringan	:	2.29	derajat

Daya	:	2.92	hp
Waktu Tinggal	:	1,2	jam
Harga	:	US$ 158.770	

25. Screw Conveyor (J-331)

Tabel V.25 Spesifikasi Screw Conveyor (J-331)

Kesimpulan Spesifikasi Alat			
Nama Alat	:	*Screw Conveyor*	
Kode Alat	:	J-331	
Fungsi Alat	:	Memindahkan PCC dari plate and frame ke rotary dryer	
Diameter conveyor	:	6	in
Panjang conveyor	:	4	m
Material Classification	:	*III E*	
Tipe Bearing Digunakan	:	*Sealmaster Bearing*	
Rotasi Screw	:	38	rpm
Power Dibutuhkan	:	0.043	hp
Jumlah	:	1	
Harga	:	US$ 2.874	

26. Cyclone (H-332)

Tabel V.26 Spesifikasi Cyclone (H-332)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	:	*Cyclo*

		ne
Kode Alat	:	H-332
Fungsi	:	Memisahkan padatan $CaCO_3$ yang masih terkandung aliran udara pengering keluar dari rotary dryer
Jumlah Alat	:	1
Kondisi Operasi	:	P = 1 atm
T		= 45,5 °C
Bc	:	0,225 m
Dc	:	0,9 m
De	:	0,449 m
Hc	:	0,449 m
Lc	:	1,8 m
Zc	:	1,8 m
Jc	:	0,225 m
Sc	:	0,112 m
Harga	:	US$ 37.579

27. Screw Conveyor (J-333)

Tabel V.27 Spesifikasi Screw Conveyor (J-333)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	:	*Screw Conveyor*
Kode Alat	:	J-333
Fungsi Alat	:	Memindahkan PCC dari Rotary Dryer ke ball mill
Material Classification	:	*III E*

Tipe Bearing Digunakan	:	*Sealmaster Bearing*	
Diameter conveyor	:	6 in	
Panjang conveyor	:	4 m	
Rotasi Screw	:	30,011	rpm
Power Dibutuhkan	:	0.034	hp
Jumlah	:	1	
Harga	:	US$ 2.874	

28. Ball Mill (C-334)

Tabel V.28 Spesifikasi Ball Mill (C-334)

Kesimpulan Spesifikasi Alat				
No Kode	C-334			
Fungsi	Memperkecil ukuran *steel slag*			
Type	Marcy ball mill			
Bahan	*Cast Iron*			
Dimensi	Diameter Bahan Masuk	=	0,1	mm
	Diameter Bahan Keluar	=	0,002	mm
	Power	=	178,49	kW
	Diameter bola	=	3,84	cm
	Kecepatan kritis	=	27,08	rpm
	Kapasitas	=	1700,9	kg/jam
Kondisi Operasi	Suhu	=	60	°C
	Tekanan	=	1	atm
Harga	US$ 61.185			

29. Screw Conveyor (J-335)

Tabel V.29 Spesifikasi Screw Conveyor (J-335)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	:	*Screw Conveyor*
Kode Alat	:	J-335
Fungsi Alat	:	Memindahkan PCC dari ball mill ke PCC storage
Material Classification	:	*IIIE*
Tipe Bearing Digunakan	:	*Sealmaster Bearing*
Rotasi Screw	:	30,011 rpm
Power Dibutuhkan	:	0,034 hp
Jumlah	:	1
Harga	:	US$ 2.874

30. PCC Storage (F-336)

Tabel V.30 Spesifikasi PCC Storage (F-336)

Kesimpulan Spesifikasi Alat					
Nama Alat	:	*PCC Storage*			
Kode Alat	:	F-336			
Fungsi Alat	:	Menyimpan produk Precipitated Calcium Carbonate (PCC)			
Jumlah	:	1	unit		
Kapasitas	:	1082828,11	kg		
Ukuran	:	P	=	14,48	m
		l	=	7,24	m
		t	=	10,86	m
Bahan Konstruksi	:	Batu bata dan semen			
Harga	:	US$ 5.831			

31. Heater (E-337)

Tabel V.31 Spesifikasi Heater (E-337)

Spesifikasi	Keterangan			
Fungsi	Menaikkan suhu udara sebelum Rotary Dryer			
Tipe	1-2 Shell and Tube Heat Exchanger			
Bahan	Carbon Steel SA-129 A			
Suhu Masuk	Steam	=	160	ºC
	Udara	=	30	ºC
Suhu Keluar	Steam	=	160	ºC
	Udara	=	120	ºC
Shell Side	Diameter Dalam	=	37	in
	Baffle Space	=	18,5	in
	Passes	=	2	
	ΔP	=	0,526	psi
Tube Side	Diameter Luar	=	1 1/2	in
	Jumlah Tube	=	268	
	BWG	=	18	
	Pitch	=	1 7/8	in
	a"	=	0,393	ft^2/ft
	a'	=	1,54	in^2
	Passes	=	1	
	ΔP	=	0,000007	psi
Rd	0.0023		hr.ft2.ºF/Btu	
Luas Area	2103.8		ft^2	
Jumlah Alat	5		Unit	
Harga	US$ 45.500			

32. Knock Out Drum (H-340)

Tabel V.32 Spesifikasi Fixed Bed Column Adsorber (D-110)

Kesimpulan Spesifikasi Alat						
Spesifikasi	:	Fixed Bed Column Adsorber (D-110)				
Material	:	SA 167 type 304 grade 3				
Jumlah	:	2	unit			
Fungsi	:	Menghilangkan kandungan H_2S yang terkandung pada aliran biogas				
Tipe	:	Silinder packing dengan tutup atas dan bawah berbentuk *torispherical dish head*				
Jenis Sambungan	:	*Double welded butt joint*				
OD	:	60	in	=	1,524	m
ID	:	59,06	in	=	3	m
H bed	:	188,98	in	=	4,8	m
Tinggi shell	:	236,22	in	=	6	m
Tebal Shell	:	1/4	in	=	0,006	m
Tebal tutup atas	:	5/16	in	=	0,008	m
Straight flange (sf)	:	3	in	=	0,076	m
Tinggi tutup atas	:	9,93	in	=	0,252	m
Tebal tutup bawah	:	5/16	in	=	0,008	m
Tinggi tutup bawah	:	9,93	in	=	0,252	m
Tinggi tangki total	:	262,7	in	=	6,67	m
Tebal grid support	:	3/16	in	=	0,0048	m
Harga	:	US$ 661.543				

33. Biomethane Storage Tank (F-350)

Tabel V.33 Spesifikasi Biomethane Storage Tank (F-350)

Kesimpulan Spesifikasi Alat									
Nama Alat	:	Biomethane Storage Tank							
Kode Alat	:	F-350							
Fungsi	:	Menyimpan *biomethane* yang dihasilkan							
Tipe	:	*Spherical Storage*							
Kapasitas	:	3,1	ft^3						
Bahan Konstuksi	:	*High Alloy Steel SA 240 Grade B*							
Jumlah Tangki	:	20	unit						
Spek Tangki	:	Outside Diameter (OD)	=	72	in	=	1,8288	m	
		Tebal	=	3	in	=	0,0762	m	
		Tinggi	=	72	in	=	1,8288	m	
Harga	:	US$ 1.293.153							

34. Multistage Compressor (G-351)

Tabel V.34 Spesifikasi Biogas Compressor (G-351)

Kesimpulan Spesifikasi Alat		
Nama Alat	:	Biogas Compressor
Kode Alat	:	G-341
Type	:	*Centrifugal Compressor*

Fungsi	:	Menaikkan tekanan biogas untuk menjadi CBG			
Jumlah	:	4 stage			
Kondisi Operasi	:	$P_{suction}$	=	1,88	atm
		$P_{discharge}$	=	200	atm
Ratio	:	3,169			
Bahan	:	Cast Iron			
Kapasitas	:	395,61 kg/jam			
Mechanical Efisiensi	:	95%			
Power	:	62417,2 kW	=	83702,8 hp	
Harga	:	US$ 3.631.843			

35. Intercooler Multistage Compressor (G-351)

Tabel V.35 Spesifikasi Intercooler Multistage Compressor (G-351)

Kesimpulan Spesifikasi Alat					
Nama Alat	:	Intercooler Compressor			
Fungsi	:	Menurunkan suhu biogas saat melewati compressor multistage			
Tipe	:	4-8 Shell and Tube Heat Exchanger			
Kapasitas	:	Cold Fluid (Shell Side)	=	8,486	kg/jam
		Hot Fluid (Tube Side)	=	10,024	kg/jam
Jumlah	:	4 unit disusun paralel			
Ukuran	:	Tube : Tube Side			

			Number of Tubes		=	12	
			Length		=	16	ft
			BWG		=	18	
			Outside Diameter		=	1 1/2	in
			Inside Diameter		=	1,40	in
			Equiv. Diameter		=	1,08	in
			a"		=	0,393	ft^2/ft
			a'		=	1,54	in^2
			Clearence		=	0,375	in
			Pitch (Triangular)		=	1 7/8	in
			Passes		=	8	
	Shell	:	Inside Diameter		=	12	in
			Baffle Space		=	6	in
			Passes		=	4	
Pressure Drop :	Tube	:	0,0034	psi			
	Shell	:	0.0002	psi			
Harga :	US$ 123.568						

BAB VI
ANALISA EKONOMI

Analisa ekonomi merupakan salah satu parameter apakah suatu pabrik layak didirikan atau tidak. Untuk menentukan kelayakan suatu pabrik secara ekonomi, perlu dilakukan perhitungan banyaknya bahan baku yang dibutuhkan dan jumlah produk yang dihasilkan menurut neraca massa yang telah dihitung pada Bab III. Selain itu perlu dipertimbangkan harga peralatan untuk proses berdasarkan spesifikasi peralatan yang dibutuhkan seperti telah dihitung berdasarkan pada neraca massa dan energi. Selain pertimbangan-pertimbangan yang disebutkan diatas, diperlukan juga analisa biaya yang diperlukan untuk pabrik beroperasi, utilitas, jumlah dan gaji karyawan serta pengadaan lahan untuk pabrik.

Untuk menentukan kelayakan suatu pabrik secara ekonomi, diperlukan perhitungan parameter analisa ekonomi. Parameter kelayakan tersebut antara lain IRR (*Internal Rate of Return*), NPV (*Net Present Value*), POT (*Pay Out Time*) dan BEP (*Break Even Point*).

VI.1 Pengelolaan Sumber Daya Manusia

VI.1.1 Bentuk Badan Perusahaan

Bentuk badan perusahaan dalam Pabrik Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Purifikasi Biogas ini yaitu Perseroan Terbatas (PT). Perseroan Terbatas merupakan suatu persekutuan yang menjalankan perusahaan dengan modal usaha yang terbagi beberapa saham yaitu 60% equity dan 40% pinjaman dari bank, dimana tiap sekutu (disebut juga persero/equity dan bank) turut mengambil bagian sebanyak satu atau lebih saham.

Modal yang digunakan dalam perseroan terbatas ini berasal dari modal dalam negeri. Hal ini dipilih karena beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Modal perusahaan dapat lebih mudah diperoleh yaitu dari penjualan saham maupun dari pinjaman.
2. Tanggung jawab pemegang saham terbatas, karena segala sesuatu yang menyangkut kelancaran produksi ditangani oleh pemimpin perusahaan (direktur utama).
3. Kekayaan pemegang saham terpisah dari kekayaan perusahaan, sehingga kekayaan pemegang saham tidak menentukan modal perusahaan.
4. Terdapat perbedaan hak antara pemilik modal dengan dewan komisaris. Pemilik modal adalah pemegang saham sedangkan pelaksanaannya adalah dewan komisaris.

VI.1.2 Sistem Organisasi Perusahaan

Sistem organisasi yang digunakan pada Pabrik Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Purifikasi Biogas ini adalah garis dan staff, yang merupakan kombinasi dari pengawasan secara langsung dan spesialisasi pengaturan dalam perusahaan. Alasan pemakaian sistem ini adalah :

- Baik digunakan untuk pabrik besar dengan produksi yang kontinyu.
- Terdapat hubungan yang sinergis antara pimpinan dan perintah, sehingga menyebabkan budaya disiplin kerja lebih baik. Masing-masing kepala bagian maupun manajer secara langsung

bertanggung jawab atas aktivitas yang dilakukan agar tercapai tujuan.

- Kekayaan pemegang saham terpisah dari kekayaan perusahaan, sehingga kekayaan pemegang saham tidak menentukan modal perusahaan.
- Pimpinan tertinggi perusahaan dipegang oleh seorang direktur utama yang bertanggung jawab kepada komisaris.

Berikut merupakan komponen-komponen utama dalam organisasi garis dan staff, yaitu:

- **Pimpinan**

  Tugas dan wewenang pemimpin adalah sebagai berikut:

  a. Membuat program kerja yang detail dan sistematis
  b. Menjalin koordinasi dan hubungan yang bersinergi dengan para staff.
  c. Melakukan pengawasan secara menyeluruh mengenai pelaksanaan kerja di seluruh unit di pabrik.
  d. Melakukan evaluasi dan tinjauan secara kontinyu mengenai pelaksanaan pekerjaan di tiap-tiap bagian unit kerja
  e. Memberikan bimbingan serta petunjuk di dalam pelaksanaan pekerjaan.
  f. Memberikan hasil evaluasi kerja kepada dewan komisaris mengenai hal-hal yang terkait dengan pengelolaan pabrik.
  g. Sebagai perwakilan dari pihak pabrik untuk berbagai kepentingan termasuk perundingan dengan pihak dari luar.

- **Staff (Pembantu Pimpinan)**

  Suatu badan yang terdiri dari para tenaga ahli dimana memiliki kewajiban untuk membantu pemimpin dalam menjalankan kebijaksanaan perusahaan.Staff berbentuk tim yang utuh, saling membantudan membutuhkan dengan tujuan agar semua permasalahan yang di perusahaan dapat dipecahkan secara bersama-sama dengan jalan yang terbaik. Macam - macam staff antara lain ialah :

  a. Staff Teknik

  Staff khusus, yaitu kelompok staff yang berkewajiban untuk memberikan pelayanan jasa kepada komponen pelaksana sehingga dapat membantu dalam pelaksanaan tugas dan kelancarannya.

  b. Staff Ahli

  Staff ini berisikan para ahli dalam bidangnya masing-masing yang diperlukan oleh pabrik untuk membantu pihak pabrik, baik dalam bidang penelitian dan pengembangan maupun bidang lainnya.

  c. Staff Koordinasi

  Dikenal dengan istilahstaff umum, yaitu kelompok staff yang bertugas dalam membantu pimpinan dalam perencanaan dan pengawasan, dan jika dibutuhkan dapat memberikan nasihat kepada pimpinan setiap saat.

VI.1.3 Struktur Organisasi

Pembagian kerja dalam organisasi atau perusahaan ini adalah :

1. Dewan Komisaris

Komisaris bertindak sebagai perwakilan pemegang saham. Komisaris diangkat menurut ketentuan yang ada dalam perjanjian dan dapat diberhentikan setiap waktu

dalam RUPS apabila bertindak tidak sesuai dengan anggaran dasar atau kepentingan dari kalangan pemegang saham yang memiliki saham terbanyak dari persereoan tersebut.

Tugas Dewan Komisaris:

- Mengawasi direktur dan berusaha agar tindakan direktur tidak merugikan perseroan
- Menetapkan kebijaksanaan perusahaan
- Mengadakan evaluasi/pengawasan tentang hasil yang diperoleh perusahaan
- Memberikan nasehat kepada direktur bila direktur ingin mengadakan perubahan dalam perusahaan.

2. Direktur Utama

Direktur Utama adalah pemegang kepengurusan dalam perusahaan dan merupakan pimpinan tertinggi dan penanggung jawab utama dalam perusahaan secara keseluruhan.

Tugas Direktur Utama adalah :

- Menetapkan strategi perusahaan, merumuskan rencana-rencana dan cara melaksanakannya
- Menetapkan sistem organisasi yang dianut dan menetapkan pembagian kerja, tugas dan tanggung jawab dalam perusahaan untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan
- Mengadakan koordinasi yang tepat dari semua bagian
- Memberikan instruksi kepada bawahannya untuk mengadakan tugas masing-masing

- Mempertanggungjawabkan kepada dewan komisaris, segala pelaksanaan dari anggaran belanja dan pendapatan perusahaan
- Menentukan kebijakan keuangan

3. Direktur Teknik

Direktur teknik yang bertugas membantu direktur dalam pelaksanaan tugasnya, yang berhubungan dengan operasi pabrik dalam hal operasi peralatan,maintenance peralatan, plant technical dan pengadaan logistik untuk operasi pabrik. Dalam hal ini Direktur Teknik dibantu oleh Manager Operasi, Manager Maintenance, Manager Plant Technical dan Manager alat-alat berat dan linkungan yang masing-masing membawahi staff di bagian masing-masing.

Tugas Direktur Teknik :

- Membantu direktur dalam perencanaan maupun dalam penelaahan kebijaksanaan pokok bidang operasi pabrik dalam hal operasi peralatan,maintenance peralatan, plant technical dan pengadaan logistik untuk operasi pabrik
- Menentukan kebijakan engineering pabrik agar dapat beroperasi secara maksimal.
- Mengadakan koordinasi yang tepat dari bagian engineering.
- Memberikan instruksi kepada bawahannya untuk mengadakan tugas masing-masing.
- Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama.

Tugas Manager Operasi :

- Bagian operasi bertugas mengendalikan jalannya proses produksi pabrik dapat beroperasi dengan maksimal.
- Mengumpulkan fakta-fakta dalam hal operasi di lapangan kemudian menggolongkannya dan mengevaluasinya.
- Mengkoordinasikan dengan staff bagian operasi.
- Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Operasional.

Tugas Manager *Maintenance* :

- Bertugas memelihara dan menjaga fasilitas maupun peralatan pabrik yang ada dan mengadakan perbaikan/penggantian yang diperlukan agar didapatkan kontinuitas kerja dan operasi sesuai dengan perencanaan
- Mengkoordinasikan dengan staff bagian maintenance.
- Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Operasional.

Tugas Manager *Plant Technical* :

- Bagian *Plant Technical* bertugas memberikan bantuan teknik kepada bagian maintenance dan bagian operasi yang berkaitan dengan kelancaran dan efisiensi peralatan pabrik.
- Mengumpulkan fakta-fakta dalam hal operasi di lapangan kemudian menggolongkannya dan mengevaluasinya.
- Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Operasional.

Tugas Manager Logistik:

- Bagian ini bertugas untuk mengadakan kontak dengan pihak penjual bahan baku dan mempersiapkan order-order pembelian. Untuk mempersiapkan pembelian, harus ditetapkan :
    - Barang yang dibeli
    - Jumlah yang dibeli
    - Waktu pembelian
    - Tempat pembelian
    - Syarat penyerahan barang yang akan dibeli
- Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Operasional

4. Direktur Keuangan

Direktur keuangan yang bertugas membantu direktur dalam pelaksanaan tugasnya,yang berhubungan dengan hal keuangan, pembukuan perusahaan, personalia dan umum. Dalam hal ini Direktur Keuangan dibantu oleh Manager Keuangan dan Manager Personalia dan Umum yang masing-masing membawahi staff di bagian masing-masing.

Tugas Direktur Keuangan:

- Membantu direktur dalam perencanaan maupun dalam penelaahan kebijaksanaan pokok bidang keuangan dan dalam bidang kepegawaian, fasilitas bagi karyawan,peningkatan mutu karyawan, pelayanan terhadap masyarakat maupun karyawan serta keamanan pabrik.
- Menentukan kebijakan keuangan pabrik agar dapat memperoleh keuntungan maksimal.
- Mengadakan koordinasi yang tepat dari bagian keuangan dan bagian personalia dan umum.

- Memberikan instruksi kepada bawahannya untuk mengadakan tugas masing-masing.
- Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama.

Tugas Manager Keuangan :

- Bagian keuangan bertugas atas keuangan dan transaksi perusahaan.
- Bagian pembukuan bertugas atas pemeliharaan administrasi keuangan, penghitungan pajak dan pembukuan perusahaan.
- Mengkoordinasikan dengan staff bagian keuangan.
- Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Keuangan.

Tugas Manager Personalia dan Umum:

- Bagian ini bertugas bidang kepegawaian, fasilitas bagi karyawan,peningkatan mutu karyawan, pelayanan terhadap masyarakat maupun karyawan serta keamanan pabrik.
- Bertugas untuk memberikan bantuan kepada direktur dalam masalah-masalah kepegawaian, antara lain: penerimaan, pemilihan, penempatan, pemberhentian tenaga kerja dan masalah upah.
- Bertanggung jawab langsung kepada Direktur Personalia dan Umum.

VI.1.4 Perincian Jumlah Tenaga Kerja

Jumlah karyawan yang dibutuhkan untuk proses produksi Listrik diuraikan sebagai berikut :

- Penentuan jumlah karyawan operasi (proses):

Kapasitas produksi biogas dan PCC = 106.247 ton/tahun

Dari gambar 6-8 *Timmerhaus* didapat jumlah karyawan total 65 pekerja-jam/hari-proses. Karena pada pabrik energi dari bagasse ini ada 3 proses dan karyawan operasi dibagi dalam 3 shift kerja (per hari) dengan 1 shift kerja bekerja dalam 8 jam/hari, maka didapat total karyawan sebanyak 25 pekerja/hari. Dengan pembagian jadwal *shift* sebagai berikut:

M = *Morning* (*Shift* 1): Jam Kerja (07.00-15.00 WIB).
E = *Evening* (*Shift* 2) : Jam Kerja (15.00-23.00 WIB).
N = *Night* (*Shift* 3) : Jam Kerja (23.00-07.00 WIB).

Tabel VI. 1 Daftar Kebutuhan Karyawan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Purifikasi Biogas

No.	**Jabatan**	**Pendidikan**					**Jumlah Karyawan**
		SMP	**SMA/SMK**	**D3**	**S1**	**S2**	
1	Dewan Komisaris					3	3
2	Direktur utama					1	1
3	Direktur Produksi					1	1
4	Direktur Keuangan					1	1
5	Direktur Pemasaran					1	1
6	Direktur SDM					1	1
7	Sekretaris			1			1

8	Kepala Bagian						
	a. Kabag Produksi				1		1
	b. Kabag Utilitas				1		1
	c. Kabag Penjualan				1		1
	d. Kabag Pengelolaan Dana				1		1
	e. Kabag Kepegawaian				1		1
9	Supervisor						
	a. Utilitas				3		3
	b. Proses				6		6
	c. Quality Control				3		3
10	Karyawan						
	a. Dokter			2			2
	b. Perawat			4			4
	c. Penjualan			5			5
	d. Pembukuan			3			3
	e. Pengelolaan Dana			3			3
	f. Kepegawaian			5			5
	g. Pendidikan dan Latihan			5			5
11	Keamanan		15				15

VI.1.5 Status Karyawan dan Pengupahan

Sistem pengupahan dibedakan menurut status karyawan, tingkatan pendidikan dan besar kecilnya tanggung jawab atau

kedudukannya serta keahlian dan masa kerjanya. Karyawan pabrik dapat digolongkan menjadi 3 golongan sebagai berikut :

a. Karyawan Tetap

Karyawan tetap adalah karyawan tetap perusahaan yang diangkat dan diberhentikan dengan surat keputusan (SK) direksi dan mendapat gaji bulanan, tunjangan, dan jaminan sosial berdasarkan kedudukan, keahlian, dan masa kerja.

b. Karyawan Tidak Tetap

Karyawan yang bekerja secara tidak tetap dan karyawan yang masih menjalani masa kerja percobaan (*trainee)* paling lama 6 bulan. Karyawan tidak tetap ini dapat diterima sebagai karyawan tetap apabila mendapatkan nota persetujuan direktur utama, atas pengajuan kepala bagian dan manajer yang membawahinya. Upah yang diberikan berdasarkan upah bulanan, tetapi belum mendapatkan hak penuh atas tunjangan-tunjangan dan jaminan sosial yang diberikan oleh perusahaan.

c. Karyawan Harian

Karyawan yang bekerja secara harian. Karyawan ini ada ketikaperusahaan membutuhkan tenaganya. Karyawan ini diangkat dan diberhentikan oleh direksi tanpa SK dari direksi, dan mendapat upah harian yang dibayar setiap akhir pekan (yakni setiap hari sabtu).

Sistem penggajian dalam perusahaan ini adalah sebagai berikut :

a) Gaji Bulanan

Gaji bulanan diberikan kepada karyawan tetap dan tidak tetap setiap bulannya, sesuai dengan bidang, kedudukan, golongan, serta keahliannya masing-masing.

b) Gaji Harian

Gaji harian adalah gaji yang diberikan kepada karyawan harian yang besarnya tergantung pada keahlian dan masa

kerjanya. Gaji harian diberikan pada setiap akhir pekan (yakni hari Sabtu).

c) Gaji Borongan

Gaji borongan diberikan kepada karyawan harian lepas atau pekerja borongan yang telah disepakati oleh perusahaan.

VI.1.6 Tingkat Golongan dan Jabatan Tenaga Kerja

Dasar penetapan tingkat golongan didasarkan pada jabatan, masa kerja, prestasi, dan sebagainya, sehingga belum tentu karyawan yang mempunyai jabatan lebih tinggi mempunyai gaji lebih besar dari karyawan di bawahnya yang memiliki masa kerja yang lama.

Adapun pembagian golongan karyawan pada perusahaan ini adalah:

Golongan I : Karyawan dengan gaji Rp 2.000.000 – Rp.4.000.000 /bulan.

Golongan II : Karyawan dengan gaji Rp 4.500.000 – 7.500.000 /bulan.

Golongan III : Karyawan dengan gaji Rp 8.000.000 – 20.000.000 /bulan.

Golongan IV : Karyawan dengan gaji Rp 20.500.000,00 – 40.000.000,00 /bulan.

VI.1.7. Sistem Jam Kerja

Pabrik PCC dari Purifikasi Biogas ini direncanakan bekerja 330 hari per tahun dengan 24 jam kerja per hari. Sesuai dengan ketentuan Undang-Undang dari Disnaker, peraturan, dan kebijakan dari perusahaan yang telah disepakati bersama oleh karyawan.Sistem jam kerja karyawan yang berlaku diperusahaan ini, yakni sebagai berikut:

1. Sistem Jam Kerja *non-Shift*

Disebut dengan sistem jam kerja normal. Sistem jam kerja ini diperuntukkan bagi karyawan yang bekerja di bagian kesehatan dan kebersihan, pemasaran (*marketing*), Keuangan (*accounting*), personalia, administrasi, dan umum. Selain itu sistem jam kerja ini juga diperuntukkan untuk karyawan yang masih menjalani masa percobaan kerja. Jumlah jam kerja ialah 40 jam tiap minggu, sedangkan selebihnya akan dihitung sebagai jam lembur kerja. Waktu kerja untuk hari Senin-Kamis adalah dari pukul 07.30-12.00. Lalu pukul 12.00-13.00 istirahat. Dilanjutkan pukul 13.00-16.30. Sehingga total kerja adalah 8 jam.Untuk hari Jumat, waktu kerja mulai pukul 07.30-11.30. Lalu pukul 11.30-13.00 istirahat. Dilanjutkan pukul 13.00-17.00.Sehingga total kerja sama 8 jam. Untuk hari Sabtu dan Minggu libur.

2. Sistem Jam Kerja *Shift*

Disebut dengan sistem jam kerja *full.* Sistem jam kerja ini diperuntukkan bagi karyawan yang bekerja di Unit produksi dan teknik, seperti di unit proses (pengolahan), perawatan (*maintenance), quality control,* dokter, supir, dan bagian keamanan. Sistem kerja ini diperlukan karena kondisi operasional bagian unit proses (produksi) tersebut harus beroperasi secara kontinyu pengawasan secara terus-menerus selama 24 jam. Di Unit produksi dan teknik sendiri memiliki 4 (*group) shift* yang masing-masing bergantian setiap dua hari. Setiap *shift* meiliki hak untuk libur 2 hari dalam 8 hari kerja. Pembagian jadwal *shift* kerja yang ada di Unit Produksi dan Teknik:

Tabel VI. 2 Production Unit Schedule

No	*Group*	*Date*									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	I	E	E	N	N	H	H	M	M	E	E
2.	II	M	M	E	E	N	N	H	H	M	M
3.	III	H	H	M	M	E	E	N	N	H	H
4.	IV	N	N	H	H	M	M	E	E	N	N
No	*Group*	*Date*									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.	I	N	N	H	H	M	M	E	E	N	N
2.	II	E	E	N	N	H	H	M	M	E	E
3.	III	M	M	E	E	N	N	H	H	M	M
4.	IV	H	H	M	M	E	E	N	N	H	H

No	*Group*	*Date*										
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1.	I	H	H	M	M	E	E	N	N	H	H	M
2.	II	N	N	H	H	M	M	E	E	N	N	H
3.	III	E	E	N	N	H	H	M	M	E	E	N
4.	IV	M	M	E	E	N	N	H	H	M	M	E

Keterangan:

M = *Morning* (*Shift* 1) ; Jam Kerja (07.00-15.00 WIB).

E = *Evening* (*Shift* 2) ; Jam Kerja (15.00-23.00 WIB).

N = *Night* (*Shift* 3); Jam Kerja (23.00-07.00 WIB).

H = *Holiday* (Hari Libur Kerja).

Setiap karyawan mendapatkan cuti tahunan maksimal 12 hari atau 12 kali cuti setiap tahun. Terdapat juga cuti sakit bagi tenaga kerja yang memerlukan istirahat atau perawatan total berdasarkansurat keterangan dokter, cuti hamil selama tiga bulan bagi tenaga kerja wanita (satu bulan sebelum melahirkan dan dua bulan setelah melahirkan), cuti besar diberikan setiap enam tahun sekali, cuti alasan penting seperti ibadah haji, pernikahan diri sendiri, pernikahan saudara kandung, orang tua atau mertua meninggal dunia, mengkhitankan anak, membaptiskan anak, dan terkena bencana alam. Pengambilan waktu cuti diatur dengan mengajukan permohonan maksimal 1 hari sebelumnya untuk pertimbangan ijinnya.

VI.2 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 Energi dari Bagasse ini meliputi :

1. Air

Berfungsi sebagai sanitasi, air pendingin, dan air untuk *feed boiler*. Maka untuk memenuhi kebutuhan utilitas pabrik diatas, diperlukan unit-unit sebagai penghasil sarana utilitas, yaitu :

VI.2.1 Unit Pengolahan Air

Kebutuhan air untuk pabrik diambil dari air laut, 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 Energi dari Bagasse ini digunakan untuk kepentingan :

1. Air sanitasi, meliputi air untuk laboratorium dan karyawan.

   Air sanitasi digunakan untuk keperluan para karyawan dilingkungan pabrik.Penggunaannya antara lain untuk konsumsi, mencuci, mandi, memasak, laboratorium, perkantoran dan lain-lain. Adapun syarat air sanitasi, 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 PO4, Hg, Cu dan sebagainya

   c) Syarat bakteriologi :
      - Tidak mengandung kuman atau bakteri, terutama bakteri patogen
      - Bakteri E. coli kurang dari 1/ 100 ml

2. Air proses, meliputi : air proses, air pendingin dan air umpan boiler

   Pada unit pengolahan air ini, peralatan yang digunakan meliputi: pompa air boiler, bak pendingin, kation-anion exchanger.

VI.2.2 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan untuk pabrik ini adalah ampas tebu sebagai sumber energi yang digunakan untuk menjalankan peralatan proses.

VI.2.3 Unit Pemadam Kebakaran

Unit ini digunakan untuk mengantisipasi bila terjadi bahaya kebakaran di pabrik ini. Unit pemadam kebakaran yang digunakan adalah menggunakan *Hydrant* dan *Foam*.

VI.3 Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi dimaksudkan untuk dapat mengetahui apakah suatu pabrik yang direncanakan layak didirikan atau tidak. Untuk itu pada pra rencana Pabrik Energi dari Bagasse ini dilakukan evaluasi atau studi kelayakan dan penilaian investasi. Faktor-faktor yang perlu ditinjau untuk memutuskan hal ini adalah:

1. Laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return*, IRR)
2. Waktu pengembalian modal minimum (*Pay Out Time*, POT)
3. Titik Impas (*Break Event Point*, BEP)

Sebelum dilakukan analisa terhadap ketiga faktor diatas perlu dilakukan peninjauan terhadap beberapa hal sebagai berikut :

1. Penaksiran Total Investasi Modal (*Total Capital Investment*, TCI) yang meliputi:
   a. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*, FCI) :
      - Biaya Langsung (*Direct Cost)*
      - Biaya Tidak Langsung (*Indirect Cost)*
   b. Modal Kerja (*Working Capital Investment*, WCI)

2. Penentuan Biaya Produksi (*Total Production Cost*, TPC), yang terdiri:
   a. Biaya Pembuatan (*Manufacturing Cost*) :
      - Biaya Produksi Langsung (*Direct Production Cost*, DPC*)*
      - Biaya Tetap (*Fixed Cost*, FC)
      - Biaya Tambahan *Plant* (*Plant Overhead Cost*)
   b. Biaya pengeluaran umum (*General Expenses*)
3. Biaya Total

   Perhitungan Biaya Total ini digunakan untuk mengetahui besarnya semua biayayang dikeluarkan perusahaan. Selain itu juga untuk mengetahui besarnya nilaititik impas (BEP). Untuk mengetahui besarnya titik impas (BEP) perlu dilakukan penaksiran terhadap:
   a. Biaya Tetap (*Fixed Cost*, FC)
   b. Biaya Semi-variabel (*Semi Variable Cost*, SVC)
   c. Biaya Variabel (*Variable Cost*, VC)
   d. Total Penjualan (*Sale*s, S)
4. Total Pendapatan

   Total pendapatan dihitung untuk mengetahui besarnya pendapatan bersih yang didapatkan untuk pabrik sehingga apabila pabrik ini mendapatkan laba yangsesuai maka pabrik yang sedang direncanakan ini layak untuk didirikan, akantetapi apabila pabrik yang direncanakan mengalami kerugian maka pabrik ini tidak layak untuk didirikan.Analisa ekonomi dalam desain Pabrik Energi dari Bagasse ini dihitungdengan menggunakan “Metode *Discounted Cash Flow*”.Perhitungan analisa ekonomi secara lengkap dapat dilihat pada Appendiks D.

VI.3.1 Biaya Peralatan

Harga perlatan tiap tahun cenderung naik, sehingga untuk menetukan hargasekarang dapat ditaksir dari harga tahun sebelumnya berdasarkan FOB (*Free On Board*) dari *Gulf Coast USA* pada tahun 2014 yang diperoleh dari *www.matche.com*. Perhitungan harga peralatan secara total dapat dilihat pada Appendiks D.

VI.3.2 Perhitungan Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi dihitung dengan menggunakan metode *discounted cash flow* yaitu nilai *cash flow* diproyeksikan dengan nilai pada masa sekarang. Berikut dasar perhitungan yang digunakan :

1. Modal
   Modal Sendiri = 40 %
   Modal Pinjaman = 60 %
2. Bunga Bank = 12% per tahun
3. Laju Inflasi = 3 % per tahun
4. Masa Konstruksi = 2 tahun
   - Tahun pertama menggunakan 40 % modal sendiri dan 60 % modal pinjaman.
   - Tahun kedua menggunakan sisa modal sendiri dan sisa modal pinjaman.
5. Pembayaran modal pinjaman selama konstruksi dilakukan secara diskrit dengan cara sebagai berikut:
   - Pada awal masa konstruksi yaitu awal tahun ke (-2) dilakukan pembayaran sebesar 40 % dari modal pinjaman untuk keperluan pembelian tanah dan uang muka.
   - Pada akhir tahun kedua masa konstruksi (tahun ke (-1)) dibayarkan sisa modal pinjaman.

6. Pengembalian pinjaman dilakukan pada jangka waktu 10 tahun, sebesar 10 % per tahun.
7. Umur pabrik, penyusutan investasi alat dan bangunan diperkirakan terjadi dalam waktu 10 tahun dengan depresiasi sebesar 10% dari total Fixed Capital Investment per tahun secara *straight line* dari Fixed Capital Invesment (FCI).
8. Kapasitas Produksi :

   Tahun ke-1 = 80 %.
   Tahun ke-2 = 100 %.
   Tahun ke-3 = 100 %.

VI.3.2.1 Investasi

Investasi total pabrik tergantung pada masa konstruksi. Investasi yang berasal dari modal sendiri akan habis pada tahun pertama konstruksi. Nilai modal sendiri dapat terpengaruh oleh inflasi. Untuk modal sendiri dan modal pinjaman dari bank, total pinjaman pada akhir masa konstruksi dapat dilihat pada Appendiks D.

VI.3.3 Laju Pengembalian Modal (*Internal Rate of Return / IRR*)

Internal rate of return berdasarkan metode *discounted cash flow* adalah suatu tingkatbunga tertentu dimana seluruh penerimaan akan tepat menutup seluruh jumlahpengeluaran modal. Cara yang dilakukan adalah dengan *trial* harga i, yaitu lajubunga sehingga memenuhi persamaan berikut:

$\frac{\sum CF}{(1+i)^n}$ = **total modal akhir masa konstruksi.**

Keterangan:

n = tahun.

i = *discount factor*.

CF =*netcash flow* pada tahun ke-n.

$1/(1+i)^n$ = *discount flow.*

Dari hasil perhitungan pada Appendiks D, didapatkan harga i = 20,20% yang mana lebih besar dari harga i untuk bunga pinjaman yaitu 12% per tahun. Dengan harga i = 20,20% yang didapatkan dari perhitungan menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan dengan kondisi tingkat bunga pinjaman 12% per tahun.

VI.3.4 *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah selisih antara *present value* dari investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas bersih di masa yang akan datang. Untuk menghitung nilai sekarang perlu ditentukan tingkat bunga yang relevan. NPV dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

atau

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+i)^t} - CF_0$$

Dari hasil perhitungan pada Appendiks D, didapatkan nilai NPV sebesar Rp 1.213.264.544. Harga *Net Present Value* yang diperoleh bernilai positif (NPV>0). Hal ini menunjukkan bahwa proyek akan menambah nilai bagi

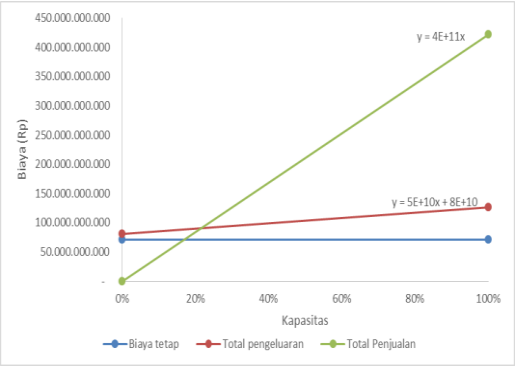
perusahaan sehingga proyek pembangunan pabrik ini layak dilaksanakan.

VI.3.5 Waktu Pengembalian Modal (*Pay Out Time / POT*)

Dari perhitungan yang dilakukan pada Appendiks D didapatkan bahwa waktu pengembalian modal minimum adalah 6,59 tahun. Nilai POT ini menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan karena POT yang didapatkan lebih kecil dari perkiraan usia pabrik yaitu 10 tahun.

VI.3.6 Analisa Titik Impas (*Break Even Point / BE*P)

Analisa titik impas digunakan untuk mengetahui besarnya kapasitas produksi yang harus ditetapkan ketika biaya produksi total tepat sama dengan hasil penjualan. Biaya Tetap (FC), Biaya *Variable* (VC), dan Biaya *Semi-Variable* (SVC) tidak dipengaruhi oleh kapasitas produksi. Dari perhitungan yang dilakukan pada Appendiks D didapatkan bahwa Titik Impas (BEP) = 21,24%.



Gambar VI. 3 Grafik BEP Pabrik Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Purifikasi Biogas

BAB VII
KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada bab-bab terdahulu maka dapat diambil kesimpulan dari analisa studi kelayakan pada Pra Desain Pabrik Purifikasi Biogas PT. Enero dengan Karbonasi Mineral $Ca(OH)_2$ dari *Steel Slag (Bubble Column Reactor)* 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 PT. Enero dengan Karbonasi Mineral $Ca(OH)_2$ dari *Steel Slag (Bubble Column Reactor)* dapat didirikan di Kelurahan Gempolkerep, Kecamatan Gedeg, Kota Mojokerto, Jawa Timur dengan Kapasitas 44.067 ton *steel slag* dan 9.476 ton biogas per tahun , yang akan memproduksi 13.471 ton PCC per tahun dan 3.591 ton *biomethane* per tahun, dan pabrik beroperasi secara kontinyu 24 jam/hari, selama 330 hari dalam setahun.

2. Secara Ekonomis

   Berdasarkan analisa ekonomi dengan metode *Discounted Cash Flow* terhadap faktor ekonomi pra desain pabrik ini, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

   a. Laju Pengembalian Modal (*Internal Rate of Return*/IRR) sebesar 20,2% per tahun, dimana lebih besar dari suku bunga bank yang sebesar 12% per tahun.
   b. Waktu Pengembalian Modal (*Pay Out Time/*POT) adalah 6,59 tahun.

c. Titik Impas (*Break Even Point*/BEP) sebesar 21,24%.

Ditinjau dari aspek teknis dan ekonomis yang telah dijabarkan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa Pra Desain Pabrik Purifikasi Biogas PT. Enero dengan Karbonasi Mineral $Ca(OH)_2$ dari *Steel Slag (Bubble Column Reactor)* ini layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

Awe, et al. 2017. A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies. No. 2, Vol. 8, hal. 267-283

Aziz, M. 2010. Batu Kapur dan Peningkatan Nilai Tambah serta Spesifikasi Untuk Industri. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* Vol. 6, No. 3, hal 116-131.

Brownell,L.e. and Young, E,H., 1959. *Process Equipment Design*. New Delhi : Wiley Eastern Limited.

Chang, E. 2011. Performance Evaluation for Carbonation of Steel-Making Slags in a Slurry Reactor. *Journal of Hazardous Material.* No.71. Vol 186. hal 558-564.

Chang, 2011. Performance Evaluation for Carbonation of Steel-Making Slags in a Slurry Reactor. *Journal of Hazardous Material*. Vol.186, hal 558-564.

Elenova, 2008. Reduction of CO_2 Emission from Steel Plants by Using Steelmaking Slags for Production of Marketable Calcium Carbonate. Vol.80, No.2, hal 417-418.

Geankoplis, Christie John. 2003. *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operation), 4th Edition.* USA : PearsonEducation Inc.

Jakobsen, 2008. Chemical Reactor Modeling. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Kantarci, 2005. Bubble Column Reactors. *Process Biochemistry*. Vol. 40. Hal 2263-2283.

Kharicha, 2018. Review of Ammonium Chloride-Water Solution Properties. Journal of Chemical Engineering.

Ko, T. Red Soil as a Regenerable Sorbent for High Temperature Removal of Hydrogen Sulfide from Coal Gas. *Journal of Hazardous Material*. Vol.136, hal 776-783.

Kulkarni, et al. 2018. Hydrogen Sulfide Removal from Biogas Using Chemical Absorption Technique in Packed Column Reactor. *Global Journal of Environmental Science and Management.* Vol 5, No.1, hal 155-166.

Kulkarni, et al. 2011. Design and Selection of Sparger for Bubble Column Reactor. Part II: Optimum Sparger Type and Design. *Chemical Engineering Research and Design.* Vol 5, No.89, hal 1986-1995.

Kern, Donald. 1950. *Process Heat Transfer*. New York : McGraw-Hill Book Company.

Kulkarni, 2008. Design of a Pipe/Ring Type of Sparger for A Bubble Column Reactor. Chemical Engineering and Technology. Vol.3, No. 6, hal 1015-1022.

Kusnarjo. 2010. *Desain Alat Industri Kimia*. Surabaya : ITS Press.

Lee, et al. 2017. Calcium Extraction from Steelmaking Slag and Production of Precipitated Calcium

Carbonate from Calcium Oxide for Carbon Dioxide Fixation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Vol 53, No. 5, Hal. 233-240.

Mattila, 2014. Utilization of Steelmaking Waste Material for Production of Calcium Carbonate ($CaCO_3$). Vol. 11, hal 112-137.

Mc Cabe, W.L., Julian Smith, Peter Hariot. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 6th edition*. Singapore: Mc Graw Hill, Inc.

Megyesy, 1973. Pressure Vessel Handbook. 12th edition. Oklahoma: Pressure Vessel Publishing, Inc.

Miras, 2016. Pilot-scale Experimental Work on Sustainable Process Method of Production of Precipitated Calcium Carbonate from Steel Slag and Carbon Dioxide. Aalto University.

Teir, 2015. Performance of Separation Processes for Precipitated Calcium Carbonate Produced with an Innovative Method from Steelmaking Slag and Carbon Dioxide.

Thanakunpaisit, 2017. Removal of Hydrogen Sulfide from Biogas Using Laterite Material as An Adsorbent. *Energy Procedia*. Vol 138, No.21, Hal. 1134-1139.

Perry, H. Robert. 1997.*Chemical Engineering Handbook 7th Edition.* New York : McGraw-Hill.

Peters, Max S. and Timmerhaus, Klaus D.,1991 *Plant Design and Economic For Chemical Engineering*

4-ed, International Edition. Singapore : McGraw-Hill Book Co Singapore.

Peterson, Anneli. 2013. *Biogas Cleaning. In The Biogas Handbook, By Arthur Wellinger, Jerry Murphy And David Baxter, 329-341*. Woodhead Publishing Limited..

Saing, et al. Strength Characteristic of Ferro Laterite Soil with Lime Stabilization as Subgrade Material. Vol 12, hal 36-53.

Sarperi, 2013. The Use of An Industrial By-Product as A Sorbent to Remove CO_2 and H_2S from Biogas. Journal of Environmental Chemical Engineering. Vol. 2, hal. 1207-1213.

Seborg, Edgar, Melllichamp, Doyle. 1990.*Process Dynamics and Control 3th Edition.* Amerika: United States of Amerika.

Shaikh, et al. 2013. Scale up of Bubble Column Reactor: A Review of Current State of The Art. No.52, hal 8091-8108.

Sundermann, 2016. Production of Calcium Carbonate from Steelmaking Slag and Captured CO_2 Optimisation of the Carbonation Process and Product Quality. Aalto University

Ulrich, Dael D. 1984. *A Guide To Chemical Engineering Process Desain And Economics* New York : John Wiley.

Van Ness, S. 1967. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 4th Edition.*

Singapore : International Edition, McGraw-Hill Inc.

Wang, et al. 2012. Simultaneous Removal of Hydrogen Sulfide and Mercury from Simulated Syngas by iron-based sorbents. *Fuel*.

Zappa, W. 2014. Pilot-scale Experimental Work on The Production of Precipitated Calcium Carbonate (PCC) from Steel Slag for CO_2 Fixation. Aalto University.