



**TUGAS DESAIN PABRIK KIMIA – TK 184803**

**PRA DESAIN PABRIK PURIFIKASI BIOGAS PT  
ENERO DENGAN KARBONASI MINERAL  $\text{Ca}(\text{OH})_2$   
DARI STEEL SLAG (BUBBLE COLUMN REAKTOR)**

**Oleh:**

**MUHAMMAD RIDWAN FAUZI**

**NRP. 0221164000026**

**MUHAMMAD HASBI ASH SHIDIQY**

**NRP. 0221164000037**

**Dosen Pembimbing :**

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

**NIP. 1952 09 16 1980 03 1002**

**Dr. Suci Madhania, S.T., M.T.**

**NIP. 197502142008122003**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**

# LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tugas Desain Pabrik dengan Judul :

**"PURIFIKASI BIOGAS PT ENERO DENGAN KARBONASI MINERAL  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  DARI STEEL SLAG (BUBBLE COLUMN REAKTOR)"**

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

Oleh :

**Muhammad Ridwan Fauzi**


**NRP. 02211640000026**

**Muhammad Hasbi Ash S.**

**NRP. 02211640000037**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Penelitian :

1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng
2. Dr. Suci Madhania, S.T., M.T.
3. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng
4. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MSc
5. Dr. Siti Nurkamidah, ST, MS, Ph.D

 (Pembimbing I)  
 (Pembimbing II)  
 (Penguji I)  
 (Penguji II)  
 (Penguji III)

Surabaya  
Januari 2020



## INTISARI

Berdasarkan Indonesia Energy Outlook 2016, data cadangan energi fosil pada tahun 2014 ialah 3,6 miliar barel minyak bumi, 100,3 TCF gas dan 32,27 miliar ton batubara. Namun di sisi lain, energi fosil tersebut merupakan energi yang tidak terbarukan. Dengan laju pertumbuhan PDB ( Produk Domestik Bruto ) rata - rata 6,9 % per tahun kebutuhan energi pada tahun 2050 dapat naik menjadi 7,6 kali lipat terhadap kebutuhan energi tahun 2014. Di masa depan, pengembangan energi akan bergeser dari energi berbasis fosil menjadi energi baru terbarukan. Salah satu energi baru terbarukan adalah biomethane atau biogas. *Biomethane* atau biogas adalah gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor (biodigester) dalam kondisi anaerob.

Upaya pemerintah untuk pemenuhan kebutuhan gas bumi adalah dengan memproduksi *Coal Bed Methane*. Pengembangan CBM yang saat ini diharapkan sudah berproduksi, masih banyak mengalami kendala. *Shale* gas meskipun berpotensi untuk dikembangkan namun belum dipertimbangkan pemanfaatannya dalam BPPT-OEI 2016 ini karena belum ada kepastian untuk eksplorasi lebih lanjut. Sehingga produksi *biomethane* memiliki prospek yang baik dalam pemenuhan kebutuhan energi di Indonesia. Salah satu pabrik yang memproduksi biogas di Indonesia adalah PT. Enero yang berada di Moojokerto.

Di sisi lain, produksi PCC (*Precipitated calcium carbonate*) memerlukan CO<sub>2</sub> dalam prosesnya. Sehingga CO<sub>2</sub> yang merupakan produk samping dari produksi biomethane dapat digunakan langsung pada produksi PCC. PCC merupakan kalsium karbonat yang dihasilkan dari proses presipitasi dengan kemurnian yang tinggi. Kemurnian PCC dipasaran adalah 95-99 %.

Dalam industry pembuatan baja terdapat limbah yang dihasilkan yaitu Steel Slag. Dari beberapa jenis Steel Slag, *Blast Furnace Steel Slag* merupakan jenis yang paling banyak kandungan Kalsiumnya yaitu 30 - 50 % dalam bentuk senyawa CaO. Dengan kandungan kalsium yang cukup banyak ini, *Blast Furnace Steel Slag* dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan PCC (*Precipitated calcium carbonate*). Salah satu pabrik yang memproduksi baja di Indonesia adalah PT. Krakatau Steel.

Lokasi pabrik harus dekat dengan sumber bahan baku, sehingga proses operasi dapat terjaga kelangsungannya. Selain itu, dapat mengurangi biaya transportasi dan penyimpanan. Bahan utama pabrik ini adalah Biogas, sehingga lokasi pabrik adalah didekat pabrik induknya yaitu PT. Enero, di Mojokerto.

Pada tahap pemurnian, gas asam yang dihilangkan adalah H<sub>2</sub>S dan CO<sub>2</sub> sebagai produk samping dari reaksi pembentukan biogas. Gas CO<sub>2</sub> harus dihilangkan karena bersifat korosif terhadap logam. Sedangkan H<sub>2</sub>S harus dihilangkan karena bersifat korosif dan berbahaya bagi lingkungan. Proses Pemurnian H<sub>2</sub>S menggunakan reactor Fixed Bed yang berisi *Laterit Soil* yang mengandung senyawa FeO yang dapat mengikat H<sub>2</sub>S. Proses pemurnian gas metana menggunakan absorpsi kimia dengan menggunakan senyawa Ca(Cl)<sub>2</sub>. Senyawa Ca(Cl)<sub>2</sub> bersumber dari *Blast Furnace Steel Slag* yang telah dihaluskan dan direaksikan dengan NH<sub>4</sub>Cl pada *Continus Stirred Tank*. Bubble coloumn digunakan untuk mengontakkan gas CO<sub>2</sub> dengan senyawa Ca(Cl)<sub>2</sub>. Biogas masuk ke bubble column melalui bagian bawah kolom. Gas dikontakkan dengan larutan Ca(Cl)<sub>2</sub> yang masuk dari bagian atas kolom. Didalam Bubble Column CO<sub>2</sub> bereaksi dengan Ca(Cl)<sub>2</sub> sehingga biogas yang keluar dari bagian atas Bubble Column sudah tidak mengandung CO<sub>2</sub>. Gas metana yang keluar dari bubble

column dialirkan untuk kemudian dinaikkan tekananya dan di turunkan suhunya hingga suhu *ambient* untuk selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Selain itu, hasil dari reaksi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{Ca}(\text{Cl})_2$  di dalam bubble column reactor adalah senyawa  $\text{Ca}(\text{CO})_3$  (*Precipitatec Calcium Carbonate*) yang selanjutnya akan dimurnikan. Tahap pemurnian PCC (*Precipitated calcium carbonate*) melibatkan Thickener yang berfungsi untuk meningkatkan kepekatan, Plate and Frame Fiter Press yang berfungsi untuk mengurangi kandungan liquid, dan Rotary Dryer untuk mengeringkan padatan, Ball Mill untuk memecah PCC yang teraglomerasi menjadi ukuran yang lebih kecil.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas rahmat-Nya penyusunan “PURIFIKASI BIOGAS PT ENERO DENGAN KARBONASI MINERAL  $\text{Ca(OH)}_2$  DARI STEEL SLAG (BUBBLE COLUMN REAKTOR)” ini dapat kami selesaikan.

Laporan tugas pra desain pabrik ini ditulis sebagai salah satu syarat salah satu persyaratan yang harus dilalui mahasiswa Teknik Kimia ITS guna memperoleh gelar keserjanaan. Tugas pra desain pabrik ini kami susun berdasarkan aplikasi ilmu pengetahuan yang terdapat dalam literatur buku maupun data internet, khususnya di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran Teknik Kimia FTI-ITS. Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

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

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan baik moral maupun material, serta kasih sayang tulus, motivasi, bimbingan, dan doanya.
2. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran dan Dr. Suci Madha Nia, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
3. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng, dan Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MSc, serta Dr. Siti Nurkamidah, ST, MS, Ph.D selaku Dosen Penguji yang telah memberikan berbagai kritik dan saran kepada kami.

4. Dr. Siti Machmudah, S.T., M. Eng, serta Dr. Kusdianto, ST., M.Sc.Eng selaku Dosen Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran.
5. Teman - teman Departemen Teknik Kimia angkatan 2016 serta Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran khususnya yang berjuang bersama dalam menyelesaikan tugas pra desain pabrik kimia yang selalu memberi semangat dan dukungan.
6. Serta semua pihak lainnya yang tidak bisa disebutkan penulis satu persatu yang telah membantu selama penulisan laporan.

Penulis menyadari bahwa laporan pra desain pabrik ini masih terdapat kekurangan oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis. Kami selaku penulis memohon maaf kepada semua pihak, apabila dalam penyusunan laporan ini terdapat kesalahan.

Surabaya, 13 Januari 2020

## DAFTAR ISI

|   |        |
|---|--------|
| HALAMAN JUDUL .....                       | i      |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                   | ii     |
| INTISARI .....                            | iii    |
| KATA PENGANTAR .....                      | vii    |
| DAFTAR ISI .....                          | viii   |
| DAFTAR GAMBAR .....                       | x      |
| DAFTAR TABEL .....                        | xi     |
| BAB I PENDAHULUAN .....                   | I-1    |
| I.1 Latar Belakang .....                  | I-1    |
| BAB II BASIS DESAIN DATA .....            | II-1   |
| II.1 Kapasitas .....                      | II-1   |
| II.2 Penentuan Lokasi Pendirian .....     | II-1   |
| II.3 Kualitas Bahan Baku dan Produk ..... | II-4   |
| BAB III SELEKSI DAN URAIAN PROSES .....   | III-1  |
| III.1 Jenis Proses .....                  | III-1  |
| III.2 Seleksi Proses .....                | III-21 |
| III.3 Uraian Proses .....                 | III-30 |
| III.4 Spesifikasi Produk .....            | III-33 |
| III.5 Basis Perhitungan .....             | III-37 |
| III.6 Kapasitas Produksi .....            | III-37 |
| BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI .....      | IV-1   |
| IV.1 Neraca Massa .....                   | IV-1   |
| IV.2 Neraca Energi .....                  | IV-16  |
| BAB V DAFTAR DAN HARGA ALAT .....         | V-1    |
| V.1 Daftar Alat .....                     | V-1    |
| V.2 Harga Alat .....                      | V-12   |
| BAB VI KESIMPULAN .....                   | VI-1   |
| DAFTAR PUSTAKA .....                      | xvi    |



## DAFTAR GAMBAR

|              |   |        |
|--------------|---|--------|
| Gambar I.1   | Pohon industry kimia metana .....                                   | I-3    |
| Gambar I.2   | Peta Kabupaten Mojokerto.....                                       | I-4    |
| Gambar III.1 | Skema Proses Pembuatan Biogas dan Precipitated Calcium Carbonate .. | III-6  |
| Gambar III.2 | Proses pembuatan PCC dengan metode double decomposition.....        | III-7  |
| Gambar III.3 | Proses pembuatan PCC dengan metode double karbonasi .....           | III-8  |
| Gambar III.4 | Pembuat PCC pada plant dhaka.....                                   | III-9  |
| Gambar III.5 | Bubble Column reaktor .....   | III-16 |

## DAFTAR TABEL

|             |  |        |
|-------------|--|--------|
| Tabel III.1 | Kelebihan dan Kekurangan Metode dalam Pre-Treatment <i>Steel Slag</i> .....          | III-1  |
| Tabel III.2 | Kelebihan dan Kekurangan Chemical Solvent yang digunakan untuk Metode Ekstraksi..... | III-2  |
| Tabel III.3 | Metode H <sub>2</sub> S removal pada Biomethane .....                                | III-3  |
| Tabel III.4 | Perbandingan Proses Pembuatan PCC .....  | III-10 |
| Tabel III.5 | Perbandingan Jenis Solid-Liquid Separator .....                                      | III-10 |
| Tabel III.6 | Perbandingan Jenis Dryer .....   | III-11 |
| Tabel III.7 | Perbandingan Jenis Pompa .....   | III-12 |
| Tabel III.8 | Perbandingan Jenis Compress .....  | III-12 |
| Tabel III.9 | Perbandingan Jenis Adsorben .....  | III-13 |
| Tabel IV.1  | Komposisi Biogas .....   | IV-1   |
| Tabel IV.2  | Komposisi Steel Slag .....   | IV-1   |
| Tabel IV.3  | Komposisi Soil Laterite .....  | IV -1  |
| Tabel IV.4  | Neraca Massa Ball Mill (C-123) .....   | IV -2  |
| Tabel IV.5  | Neraca Massa Recycle .....   | IV -3  |
| Tabel IV.6  | Neraca Massa Continus Stirred Tank Reactor (R-120) .....                             | IV -3  |
| Tabel IV.7  | Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (H-221) .....                              | IV -4  |
| Tabel IV.8  | Neraca Massa Fixed Bed Reactor (R-110) .....   | IV -5  |
| Tabel IV.9  | Neraca Massa Bubble Column Reactor (R-210) .....                                     | IV -6  |
| Tabel IV.10 | Neraca Massa Bubble Column Reactor (R-220) .....                                     | IV -7  |
| Tabel IV.11 | Neraca Massa Thickener (H-320) .....   | IV-9   |
| Tabel IV.12 | Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (H-320) .....                              | IV-10  |
| Tabel IV.13 | Neraca Massa Knock Out Drum (H-340) .....  | IV-12  |

|             |   |       |
|-------------|---|-------|
| Tabel IV.14 | Neraca Massa Rotary Drum Dryer (B-330) .....                | IV-12 |
| Tabel IV.15 | Neraca Massa Cyclone (H-332) .....                          | IV-14 |
| Tabel IV.16 | Neraca Energi Heater (E-126) .....                          | IV-16 |
| Tabel IV.17 | Neraca Energi Compressor (G-111) .....                      | IV-17 |
| Tabel IV.18 | Neraca Energi Cooler (E-113) .....                          | IV-17 |
| Tabel IV.19 | Neraca Energi Continous Stirred Tank Reactor (R-120) .....  | IV-18 |
| Tabel IV.20 | Neraca Energi Heater (E-337) .....                          | IV-18 |
| Tabel IV.21 | Neraca Energi Plate and Frame Filter Press (H-211) .....    | IV-19 |
| Tabel IV.22 | Neraca Energi Fixed Bed Reactor (R-110) .....               | IV-19 |
| Tabel IV.23 | Neraca Energi Bubble Column Reactor (E-210) .....           | IV-20 |
| Tabel IV.24 | Neraca Energi Bubble Column Reactor (E-220) .....           | IV-21 |
| Tabel IV.25 | Neraca Energi Thickener (H-310) .....                       | IV-21 |
| Tabel IV.26 | Neraca Energi Plate and Frame Filter Press H-320 .....      | IV-22 |
| Tabel IV.27 | Neraca Energi Knock Out Drum (H-340) .....                  | IV-22 |
| Tabel IV.28 | Neraca Energi Compressor (G-341) .....                      | IV-23 |
| Tabel IV.29 | Neraca Energi Cooler (E-341) .....                          | IV-23 |
| Tabel V.1   | Spesifikasi Alat Fixed Bad Reaktor (R-110) .....            | V-1   |
| Tabel V.2   | Spesifikasi Alat Centrifugal Compressor (G-111) .....       | V-1   |
| Tabel V.3   | Spesifikasi Alat Cooler (E-113) .....                       | V-1   |
| Tabel V.4   | Spesifikasi Alat Continus Stired Tank Reactor (R-120) ..... | V-2   |
| Tabel V.5   | Spesifikasi Alat Blast Furnace Steel Slag (F-121) .....     | V-3   |
| Tabel V.6   | Spesifikasi Alat Belt Conveyor (J-122) .....                | V-3   |
| Tabel V.7   | Spesifikasi Alat Ball Mill (C-123) .....                    | V-3   |
| Tabel V.8   | Spesifikasi Alat Screw Conveyor (J-124) .....               | V-4   |
| Tabel V.9   | Spesifikasi Alat Sentrifugal Pump (L-125) .....             | V-4   |

|            |   |      |
|------------|---|------|
| Tabel V.10 | Spesifikasi Alat Heater (E-126) .....                             | V-4  |
| Tabel V.11 | Spesifikasi Alat Centrifugal Pump (L-127).....                    | V-5  |
| Tabel V.12 | Spesifikasi Alat Bubble Column Reactor (R-210) .....              | V-5  |
| Tabel V.13 | Spesifikasi centrifugal pump (L-213) .....                        | V-5  |
| Tabel V.14 | Spesifikasi Alat Plate and Frame Filter Press (R-211).....        | V-6  |
| Tabel V.15 | Spesifikasi Alat Pompa BCR (L-212) .....                          | V-6  |
| Tabel V.16 | Spesifikasi Alat Bubble Colum Reactor (R-220) .....               | V-6  |
| Tabel V.17 | Spesifikasi Alat Thickener (H-310) .....                          | V-7  |
| Tabel V.18 | Spesifikasi Alat Storage NH <sub>4</sub> Cl Recycle (F-311) ..... | V-7  |
| Tabel V.19 | Spesifikasi Alat Plate and Frame Filter Press .....               | V-7  |
| Tabel V.20 | Spesifikasi Alat Pompa Filter Press (L-321) .....                 | V-8  |
| Tabel V.21 | Spesifikasi Alat Rotary Dryer (B-330) .....                       | V-8  |
| Tabel V.22 | Spesifikasi Alat Screw Conveyor (B-350) .....                     | V-8  |
| Tabel V.23 | Spesifikasi Alat Cyclone (H-332) .....                            | V-9  |
| Tabel V.24 | Spesifikasi Alat Screw Conveyor (J-333) .....                     | V-9  |
| Tabel V.25 | Spesifikasi Alat Ball Mill (C-334) .....                          | V-9  |
| Tabel V.26 | Spesifikasi Alat Screw Conveyor (J-336) .....                     | V-10 |
| Tabel V.27 | Spesifikasi Alat Gudang PCC (F-336) .....                         | V-10 |
| Tabel V.28 | Spesifikasi Alat Air Heater (E-337) .....                         | V-10 |
| Tabel V.29 | Spesifikasi Alat Knock Out Drum (H-340) .....                     | V-11 |
| Tabel V.30 | Spesifikasi Alat Natural Gas Compressor (G-341) .....             | V-11 |
| Tabel V.31 | Spesifikasi Alat Cooler (E-342) .....                             | V-11 |
| Tabel V.32 | Spesifikasi Alat Biogas Storage Tank (F-343) .....                | V-12 |
| Tabel V.33 | Spesifikasi Alat NH <sub>4</sub> Cl Storage Tank (F-343) .....    | V-12 |
| Tabel V.34 | Harga Alat .....  | V-13 |

# **BAB I**

## **LATAR BELAKANG**

### **I.1 Latar Belakang**

Kebutuhan akan energi semakin bertambah sehingga krisis energi menjadi isu global di dunia terutama Indonesia. Karena penggunaannya yang secara berkelanjutan, maka sumber energi jumlahnya semakin menipis. Sehingga bahan bakar minyak (BBM) dan gas bumi tidak dapat lagi dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan energi jangka panjang di Indonesia khususnya. Dari hal tersebut maka diperlukan sumber daya energi lain, salah satunya adalah sumber energi baru terbarukan dengan dampak lingkungan yang lebih kecil dibandingkan dengan sumber energi konvensional. Sebagai upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Kebijakan tersebut membahas tentang upaya mengganti bahan bakar minyak dengan sumber daya alam atau limbah yang dapat diperbaharui sebagai energi alternatif.

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya : kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah biodegradable atau setiap limbah organik yang biodegradable dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas adalah metana sebesar 55-75% dan karbon dioksida sebesar 25-45%. (Abdurrachman, dkk, 2013) Biogas merupakan suatu gas yang dihasilkan dari proses anaerobik (fermentasi) bahan-bahan organik. Bahan yang sangat dibutuhkan dalam membuat biogas yaitu asam-asam organik yang terkandung didalam bahan organik oleh

bakteri pengurai metanogen pada sebuah biodigester. Jadi, untuk menghasilkan biogas diperlukan pembangkit biogas yang disebut biodigester. Komposisi biogas yang dihasilkan biodigester sebagian besar terdiri dari 50-70% metan ( $\text{CH}_4$ ), 30-45% Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas lainnya dalam jumlah kecil seperti  $\text{H}_2\text{S}$ . (enero.co.id)

Beberapa Manfaat biogas diantara lain :

1. Biogas dapat mengurangi penggunaan dari gas LPG, hal ini dapat saja dilakukan karena gas metana yang terkandung didalam biogas dapat digunakan sebagai pembakaran seperti halnya yang terdapat didalam gas LPG.

2. Biogas membuat lingkungan menjadi lebih bersih dan indah, hal ini terjadi karena memanfaatkan hasil samping pengolahan limbah.

3. Biogas dapat menghemat biaya serta mengganti bahan bakar minyak atau gas yang relatif lebih mahal dengan penggunaan biogas.

4. Limbah digester dari biogas dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik, baik yang berupa cair maupun padat bagi pertanian.

5. Biogas dapat berkontribusi untuk menurunkan emisi gas rumah kaca, pengurangan emisi ini terjadi karena kurangnya pemakaian bahan bakar minyak dan kayu.

6. Biogas dapat menjadi bahan bakar alternatif yang dapat menghasilkan listrik untuk menggantikan penggunaan solar. Bahan bakar biogas ini dapat menghasilkan sekitar 6000 watt per jamnya dengan menggunakan sekitar 1 meter kubik biogas.

7. Biogas juga bermanfaat untuk mengurangi asap dan kadar karbondioksida diudara.

Metana adalah gas yang molekulnya tersusun dari satu atom karbon dan empat atom hidrogen. Metana

merupakan gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa udara). Metana terdapat secara alami dan merupakan unsur utama biogas dan gas bumi. Metana adalah gas rumah kaca lain yang terdapat secara alami. Metana dihasilkan ketika jenis-jenis mikroorganisme tertentu menguraikan bahan organik pada kondisi tanpa udara (anaerob). Gas ini juga dihasilkan secara alami pada saat pembusukan biomassa. Metana mudah terbakar, dan menghasilkan karbon dioksida sebagai hasil sampingan. (Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1992)

Gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang merupakan komponen utama biogas merupakan bahan bakar yang berguna karena mempunyai nilai kalor cukup tinggi, yaitu sekitar 4800-6700 Kkal/m<sup>3</sup>, sedangkan gas metana murni mengandung energi 8900 Kkal/m<sup>3</sup>. Biogas dapat dipergunakan pada hari ke 4-5 sesudah biodigester terisi penuh, dan mencapai puncak pada hari ke 20-25. Biogas dapat dipergunakan untuk keperluan penerangan, memasak, menggerakkan mesin, dan sebagainya, karena biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi. (enero.co.id)

Gas metana banyak dihasilkan oleh mikroorganisme. Dihasilkan ditempat yang lembab tanpa oksigen dari bakteri yang membusuk didalam sampah organik. Manfaat gas metana sebagai sumber energi sudah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat, berikut manfaat gas metana dalam fungsinya sebagai bahan bakar:

1. **Untuk Memasak.** Walau belum dikelola secara professional dan menyeluruh, gas metana sudah digunakan oleh sebagian masyarakat Indonesia sebagai bahan bakar untuk memasak. Namun hal ini hanya bisa dilakukan oleh masyarakat yang hidup di dekat pembuangan sampah akhir. Contohnya adalah TPA Puuwatu di Kota Kendari, Sulawesi Tenggara dan TPA

Talangagung di Kabupaten Malang. Saat ini mereka sudah tidak pernah membeli elpiji atau bahan bakar lain yang umum digunakan oleh masyarakat Indonesia. Dengan menggunakan gas metana yang disalurkan melalui pipapipa ke rumah masing-masing, mereka bisa menikmati bahan bakar biogas gratis. (Baca juga: Supplier Gas Industri)

2. **Untuk pembangkit tenaga listrik.** Selain untuk memasak, gas metana bisa digunakan sebagai sumber energi listrik. Dengan membakar gas metana dalam gas turbin, maka akan dihasilkan energi listrik. Saat ini masyarakat di lingkungan TPA sudah bisa menikmati penerangan lampu dengan sumber energi gas metana yang dihasilkan dari sampah-sampah tersebut. Sumber tenaga listrik gratis ini sangat disambut baik oleh masyarakat tentunya. (Baca juga: Kegunaan Hidrogen)

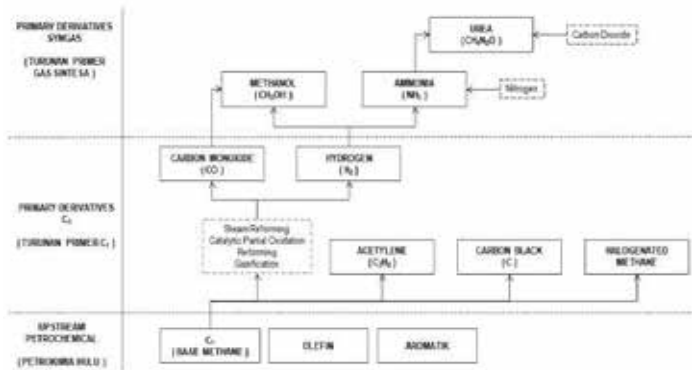
3. **Sebagai bahan bakar kendaraan.** Satu lagi manfaat gas metana yaitu bisa dijadikan bahan bakar untuk kendaraan. Di Talangagung sendiri, sudah diujicoba pada kendaraan Mercedes dan tidak ada masalah baik didaerah panas seperti Surabaya atau daerah dingin seperti Batu Malang. (Baca juga: Jual Balon Gas Helium Murah)

4. **Bermanfaat sebagai pupuk.** Kotoran yang mengandung gas metana, akan membuatnya mengandung protein, lignin, selulose dan zat-zat lain yang dibutuhkan oleh tanaman, yang tentunya tidak dihasilkan oleh pupuk kimia. Namun penggunaannya lebih baik setelah gas metananya hilang. (Baca juga: Jual Nitrogen Balon)



5. **Bahan campuran ban.** Akibat pembakaran gas metana yang tidak sempurna, maka menghasilkan karbon hitam yang kemudian digunakan sebagai penguat karet pada ban kendaraan.

Metana juga dapat berperan sebagai bahan baku dari industri lain seperti yang tertera pada diagram yang menunjukkan produk turunan dari metana

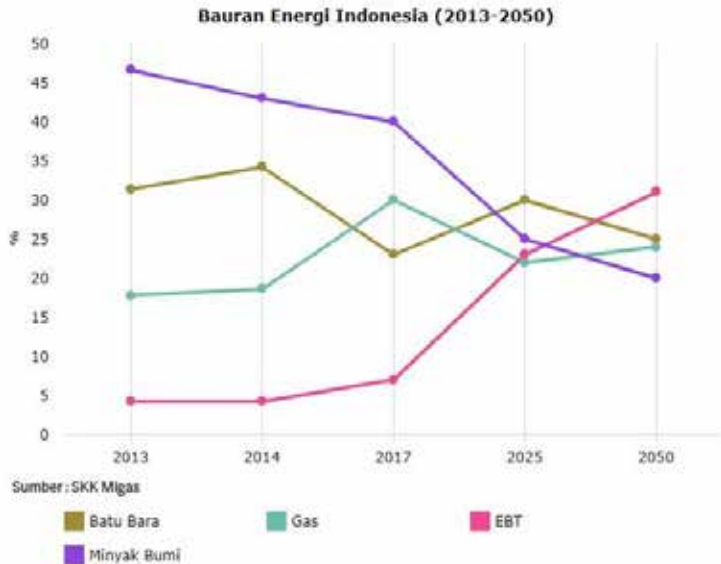


Gambar 1.1 Pohon Industri Kimia Metana

(Christian dan Setiadi, 2019)

Kemurnian metana (CH<sub>4</sub>) dari produk biogas menjadi penting karena mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan. Dalam hal ini impuritas yang berpengaruh terhadap nilai kalor adalah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Keberadaan CO<sub>2</sub> dalam gas CH<sub>4</sub> sangat tidak diinginkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar CO<sub>2</sub> dalam CH<sub>4</sub> maka semakin menurunkan nilai kalor CH<sub>4</sub> ditunjukkan dengan warna merah kekuningan pada api yang dihasilkan. Pengurangan kadar CO<sub>2</sub> secara signifikan akan meningkatkan kualitas produk biogas. Banyak teknologi yang telah dikembangkan untuk pemurnian biogas dari CO<sub>2</sub> ini. Teknologi ini meliputi absorpsi kimia, absorpsi fisik, *cryogenic*, pemurnian dengan menggunakan membran dan

fiksasi CO<sub>2</sub> dengan metode biologi atau kimia. Salah satu cara termudah dan termurah dalam pemurnian biogas yaitu melibatkan penggunaan air bertekanan sebagai penyerap (metode absorpsi). (Nadliriyah dan Triwikantoro, 2014)



Gambar I.2 Bauran Energi Indonesia (2013-2050)

Dalam rangka memenuhi rencana pemerintah menjadikan energi baru terbarukan sebagai 23% pemenuhan kebutuhan energi negara yang masih defisit 35 GW, PT. Enero telah membuat sebuah pabrik yang memproduksi biogas dengan kapasitas 1.000 NM<sup>3</sup>/jam. Enero memiliki 2 Tanki Digester dengan kapasitas 2 x 22000 m<sup>3</sup> dengan volume limbah yang diolah adalah kurang lebih 500 m<sup>3</sup> per hari dengan nilai COD hingga 200000 ppm. Sehingga total load tiap hari yang diolah anaerobic digester mencapai 100000 kg /day. Dengan jumlah organik tersebut maka

konversi biogas yang dihasilkan mencapai 1000 m<sup>3</sup> per jam atau 24000 m<sup>3</sup> per day. Dari total biogas yang dihasilkan tersebut kurang lebih dapat menghasilkan energi listrik sekitar 2 Mw. Pemanfaatan biogas di PT. Eneo sebagai energi listrik dengan didahului purifikasi biogas dari H<sub>2</sub>S untuk mencegah terjadinya korosif pada Gas Enginenya sebagai konverter dari biogas menjadi energi listrik.

Untuk meningkatkan kualitas produk biogas PT. Eneo dengan meningkatkan kemurnian metana (CH<sub>4</sub>) dan mengurangi kadar CO<sub>2</sub> dalam produknya, kami membuat pra desain pabrik

**“Pabrik Purifikasi Biogas PT. Eneo dengan Karbonasi Mineral Ca(OH)<sub>2</sub> dari Steel Slag”**

## **BAB II**

### **BASIS DESAIN DATA**

#### **II.1 Kapasitas**

Menurut data dari PT. Enero, PT. Enero memiliki 2 buah tanki digester dengan kapasitas  $2 \times 22.000 \text{ m}^3$  dengan volume limbah yang diolah adalah kurang lebih  $500 \text{ m}^3$  per hari dengan nilai COD hingga  $200.000 \text{ ppm}$ . Sehingga total load tiap hari yang diolah anaerobic digester mencapai  $100.000 \text{ kg/hari}$ . Dengan jumlah organik tersebut maka konversi biogas yang dihasilkan mencapai  $1.000 \text{ m}^3$  per jam atau  $24.000 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Untuk mendirikan sebuah Pilot Plant digunakan  $100 \text{ m}^3/\text{jam}$  sebagai kapasitas produksi.

- Waktu Operasi : 330 hari kerja/tahun
- Waktu Kerja : 24 jam/hari
- Biogas Terolah :  $792.000 \text{ m}^3/\text{tahun}$
- Produk PCC :  $857,15 \text{ ton/tahun}$
- Produk CBG :  $348,60 \text{ ton/tahun}$

#### **II.2 Lokasi**

Penentuan lokasi pabrik sangat menentukan kemajuan dan kelangsungan industri, baik pada masa sekarang maupun masa yang akan datang karena hal ini berpengaruh terhadap faktor produksi dan distribusi dari pabrik yang didirikan. Pemilihan lokasi pabrik harus memberikan suatu perhitungan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta mempertimbangan aspek sosial masyarakat dari sekitar lokasi pabrik. Dalam pemilihan lokasi pabrik biogas terdapat pertimbangan yang perlu diperhatikan yaitu ketersediaan bahan baku yang berupa limbah cair hasil pengolahan pabrik kelapa sawit. Selain berdasarkan ketersediaan bahan baku utama yang berupa limbah cair hasil pengolahan pabrik

kelapa sawit, pemilihan lokasi pabrik dipengaruhi beberapa indikator lainnya.

Pabrik purifikasi biogas dengan karbonasi mineral  $\text{Ca(OH)}_2$  dari steel slag dalam skala Pilot Plant ini menggunakan 2 macam bahan baku utama yaitu biogas dan limbah *steel slag*. Bahan baku biogas didapatkan dari PT. Enero, sedangkan bahan baku *steel slag* didapatkan dari PT. Krakatau Steel. Dengan mempertimbangkan metode distribusi bahan baku, distribusi bahan baku steel slag yang berwujud padatan akan lebih mudah dan ekonomis dibandingkan dengan distribusi bahan baku biogas yang berwujud gas. Sehingga dengan begitu pabrik purifikasi biogas dengan karbonasi mineral  $\text{Ca(OH)}_2$  dari *steel slag* ini akan didirikan berdekatan dengan PT. Enero yang merupakan pemasok utama bahan baku biogas. PT. Enero berlokasi di Kecamatan Gedeg, Kabupaten Mojokerto, Provinsi Jawa Timur. Selain berdasarkan ketersediaan bahan baku biogas yang dipasok oleh PT. Enero, pemilihan lokasi pabrik juga dipengaruhi oleh letak PT. Enero. Letak PT. Enero yang berdekatan dengan Pelabuhan Tanjung Perak, Kota Surabaya akan memudahkan distribusi produk terutama ke luar Pulau Jawa.

Pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik ini adalah:

#### 1. Bahan Baku

Distribusi bahan baku *steel slag* lebih mudah dan ekonomis dibandingkan dengan distribusi bahan baku biogas. Oleh karena itu pabrik purifikasi biogas dengan karbonasi mineral  $\text{Ca(OH)}_2$  dari steel slag ini akan didirikan berdekatan dengan PT. Enero sehingga memudahkan distribusi bahan baku biogas.

## 2. Lokasi

PT. Enero berlokasi di Kecamatan Gedeg, Kabupaten Mojokerto, Provinsi Jawa Timur. Selain berdasarkan ketersediaan bahan baku biogas yang dipasok oleh PT. Enero, pemilihan lokasi pabrik juga dipengaruhi oleh letak PT. Enero. Letak PT. Enero yang berdekatan dengan Pelabuhan Tanjung Perak, Kota Surabaya akan memudahkan distribusi produk terutama ke luar Pulau Jawa.

## 3. Tenaga Kerja

Menurut Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, Kabupaten Mojokerto merupakan kabupaten dengan tingkat pengangguran terbuka sebesar 4,27 % pada tahun 2018 dan tingkat kemiskinan sebesar 10,48 % pada tahun 2017.

## **II.3 Kualitas Bahan Baku dan Produk**

### **II.3.1 Spesifikasi Bahan Baku**

#### **II.3.1.1 Biogas**

Bahan baku biogas bersumber dari PT. Enero dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) = 38 %
- Metan (CH<sub>4</sub>) = 61 %
- H<sub>2</sub>S = 1%
- Suhu = 35°C - 40°C

(Sumber : enero.co.id)

### II.3.1.2 *Blast Furnace Slag*

Bahan baku *steel slag* yang digunakan bersumber dari PT. Krakatau Steel. Jenis *steel slag* yang digunakan adalah *blast furnace slag*, jenis ini dipilih karena kandungan mineral CaO nya yang tinggi dan ketersediannya yang melimpah.

Berikut merupakan komposisi oksida yang terkandung dalam *blast furnace slag* :

- CaO = 45,20 %
- SiO = 34,80 %
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 14,79 %
- SO<sub>3</sub> = 1,74 %
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,34 %
- MgO = 0,99 %

### II.3.1.3 *Amonium Chloride ( NH<sub>4</sub>Cl)*

Amonium Chloride digunakan untuk mengekstrak Kalsium dari Blast Furnace Steel Slag.

- Berat molekul = 53,491 g/mol
- Titik Lebur = 338°C
- Bulk Density = 1,53 g/cm<sup>3</sup>
- Cp pada 25°C (kal/mol) = 84,1 J/mol·K
- ΔH<sup>o</sup> (Kcal/Kmol) = -314,43 kJ/mol
- ΔG<sup>o</sup> (Kcal/Kmol) = -202,97 kJ/mol
- Kelarutan dalam air = 283,0 g/L (25 °C)

#### II.3.1.4 Soil Laterite

Soil laterite digunakan sebagai adsorber dalam menyerap kandungan H<sub>2</sub>S dalam biogas. Soil laterite yang digunakan berasal dari Halmahera. Komposisi soil laterite yang digunakan yaitu:

- FeO = 86,55 %
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 5,73 %
- NiO = 2,78 %
- SiO<sub>2</sub> = 2,28 %
- SO<sub>3</sub> = 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<sub>4</sub>)

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

Sifat fisika dari gas CH<sub>4</sub>

- 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%

### II.3.2.2 PCC (*Precipitated Calcium Carbonate*) ( $\text{CaCO}_3$ )

- Berat molekul (g/mol) = 100
- Titik Lebur ( $^{\circ}\text{C}$ ) = 825
- *Bulk Density* ( $\text{g/cm}^3$ ) = 0,55-0,65
- Cp pada  $25^{\circ}\text{C}$  (kal/mol) = 19,568
- $\Delta\text{Hf}^{\circ}$  (Kcal/Kmol) = 288.46
- $\Delta\text{Gf}^{\circ}$  (Kcal/Kmol) = 269,79

Kelarutan dalam air (mol/L) = 0,00015 (pada  $25^{\circ}$ )

Komposisi PCC yang digunakan yaitu :

- $\text{CaCO}_3$  (%) = 99 %
- MgO (%) = 0,2 %
- $\text{SiO}_2$  (%) = 0,1 %
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  (%) = 0,1 %
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%) = 0,1 %
- Air (%) = 0,5 %

## BAB III SELEKSI DAN URAIAN PROSES

### III.1. Seleksi Proses

#### III.1.1 Seleksi 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. Dengan adanya kadar CaO dalam *Steel Slag* sebesar 45-50% dan sisanya berupa impuritis, diperlukan adanya pre treatment untuk *Steel Slag* agar didapatkan kandungan CaO itu sendiri. 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 <i>chemical solvent</i> untuk mendapatkan CaO dari <i>Steel Slag</i> sehingga tidak perlu alat untuk pembuangan resi du. | Proses cukup rumit dan mahal dibandingkan dengan metode pengolahan lainnya, terutama pada alat serta konsumsi energi yang besar untuk calciner.<br>Selain itu, diperlukan adanya CO <sub>2</sub> murni untuk membentuk CaCO <sub>3</sub> yang akan dipakai untuk kalsinasi dan juga masih terdapat impuritis yg ikut bereaksi dengan CO <sub>2</sub> sehingga yang terbentuk tidak hanya CaCO <sub>3</sub> . |

|           |  |  |
|-----------|--|--|
| Ekstraksi | Dapat menghasilkan high purity CaO dan menghilangkan semua impuritis yang ada pada <i>Steel Slag</i> sehingga yang tersisa hanya CaO | Menggunakan chemical solvent yang direaksikan dengan <i>Steel Slag</i> serta proses yang dijalankan lebih mahal dibanding metode slaking namun lebih murah dibandingkan metode kal sinasi. |
| Slaking   | Proses yang dijalankan murah karena hanya menggunakan vessel sebagai slaker serta H <sub>2</sub> O                                   | Masih terdapat impuritis lainnya yang ikut bercampur dengan H <sub>2</sub> O   |
|           | untuk merubah <i>Steel Slag</i> menjadi slurry Ca(OH)  |  |

Bedasarkan harga alat untuk pre-treatment *Steel Slag* dan tingkat kemurnian CaO yang dihasilkan, metode pengolahan ekstraksi memiliki keuntungan yang lebih besar dibanding metode yang lainnya karena mampu menghasilkan high purity CaO dan mampu menghilangkan kandungan impuritis 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 <sub>4</sub> Cl   | Mampu mengekstrak CaO sebesar 70%. Pada suhu 60 derajat celsius yang larut pada NH <sub>4</sub> CL hanya CaO. Tersedia dalam harga yang murahset. Setelah proses karbonasi dihasilkan NH <sub>4</sub> Cl yang dapat direcycle dan dapat digunakan kembali untuk ekstraksi CaO. | Tidak seluruh kandungan CaO dalam <i>Steel Slag</i> mampu teresktraksi sehingga sebagian CaO akan menjadi residu.  |
| CH <sub>3</sub> COOH | Mampu mengekstrak seluruh kandungan CaO dalam <i>Steel Slag</i> .  | Masih adanya impuritis pada <i>Steel Slag</i> seperti MgO, SiO <sub>3</sub> dan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> yang larut pada CH <sub>3</sub> COOH sehingga memerlukan adanya hidroksida untuk menghilangkan impuritis tersebut. Selain itu, proses yang dijalankan relative mahal karena setelah metode karbonasi CH <sub>3</sub> COOH yang dihasilkan tidak dapat direcycle |

Berdasarkan kadar CaO yang terekstraksi, NH<sub>4</sub>Cl akan digunakan sebagai chemical solvent pada metode ekstraksi. Impuritis lain yang tidak larut dalam NH<sub>4</sub>Cl akan dikeluarkan melalui proses separasi sebagai residu. Selain itu, NH<sub>4</sub>Cl yang digunakan untuk ekstraksi tidak hanya fresh solvent, namun juga adanya suplai dari NH<sub>4</sub>Cl hasil reaksi pada proses karbonasi yang akan di recycle dan digunakan ulang untuk tahapan ekstraksi sehingga mampu menghemat biaya untuk pembelian NH<sub>4</sub>Cl.

## III.1.2 Seleksi Proses Purifikasi Biogas

### III.1.2.1 Seleksi Proses $H_2S$ Removal

Kadar  $H_2S$  dalam Biomethane masih memiliki kadar 1%. Meski dalam jumlah kecil,  $H_2S$  perlu dihilangkan karena memiliki sifat korosif terhadap logam yang nantinya akan merusak peralatan industri dan rumah tangga. 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

| <b>Metode</b> | <b>Penjelasan</b>  | <b>Kelebihan</b>  | <b>Kekurangan</b>   |
|---------------|--|---|---|
| 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 5 $\mu$ m.                                | Membutuhkan waktu yang cukup lama agar $H_2S$ terserap sempurna. Harga alat mahal.                  |
| Adsorber      | Penyerapan $H_2S$ dari Biogas dilakukan dengan sistem adsorpsi dimana menggunakan adsorber sebagai penyerapan $H_2S$ . Adsorber bekerja menyerap $H_2S$ menggunakan  | Mampu menyerap 99% $H_2S$ yang ada dalam biogas. Kemudian, harga tanah laterit hanya 8ribu/5kg dimana | Menghasilkan limbah baru yang berasal dari adanya adsorber jenuh (soil laterite yang telah menyerap |

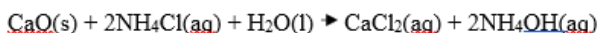
Berdasarkan tingkat efisiensi removal terhadap  $H_2S$  serta biaya operasional, maka metode  $H_2S$  removal yang paling efektif dan efisien adalah menggunakan adsorber berupa soil laterite. Soil laterite mampu menyerap 100%  $H_2S$  dalam

biogas sehingga nantinya akan menaikkan kadar CH<sub>4</sub> dalam biogas . Di era ini, soil laterite juga masih jarang dalam penggunaannya untuk H<sub>2</sub>S removal, sehingga kami ingin memberikan inovasi baru berupa adsorber baru pengganti zeolite dan aktif karbon.

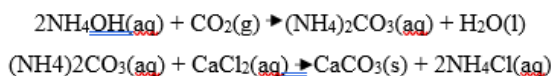
### III.1.2.2 Seleksi Proses CO<sub>2</sub> Removal

Pemurnian biogas disini dimaksudkan sebagai upaya untuk menghilangkan unsur-unsur penghambat (*impurities*) yang terkandung dalam biogas. Gas CO<sub>2</sub> dalam biogas perlu dihilangkan karena gas tersebut dapat dapat mengganggu proses pembakaran atau mengurangi nilai kalor pembakaran biogas. Pada tahap ini gas yang dihilangkan adalah CO<sub>2</sub> sebagai produk samping dari reaksi pembentukan biogas. Ada beberapa metode pemurnian biogas (CO<sub>2</sub> removal), antara lain: absorpsi fisika, absorpsi kimia, adsorpsi, pemisahan dengan membran, cryogenic dan konversi kimia menjadi senyawa lain. Pada pabrik ini, pemurnian biogas dilakukan dengan metode karbonasi yakni mereaksikan CO<sub>2</sub> dengan CaO yang telah diekstrak oleh NH<sub>4</sub>Cl dengan reaksi sebagai berikut :

- Tahap Ekstraksi

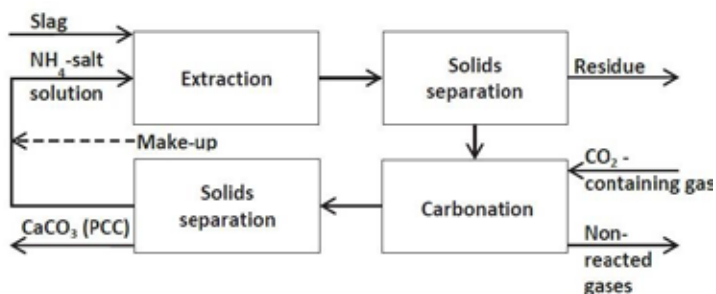


- Tahap Karbonasi



Pada tahap karbonasi, biogas dispray kedalam larutan hasil ekstraksi yang sudah bebas dari impurities. Setelah tahapan karbonasi perlu dilakukan adanya separasi untuk memisahkan solid CaCO<sub>3</sub> dengan NH<sub>4</sub>Cl. Kemudian NH<sub>4</sub>Cl yang dihasilkan bisa direcycle atau digunakan kembali sebagai solvent untuk mengekstraksi CaO pada *Steel Slag*.

Dari tahapan karbonasi untuk menyerap  $\text{CO}_2$  maka akan menghasilkan produk berupa  $\text{CaCO}_3$  dengan jenis *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). Precipitated Calcium Carbonate (PCC) adalah senyawa kimia yang memiliki rumus  $\text{CaCO}_3$ . Akan tetapi PCC memiliki struktur kristal yang berbeda yang biasa disebut dengan kalsit. Bentuk lain adalah struktur struktur yang biasa disebut dengan aragonite, yang lebih sedikit ditemukan. Blok diagram dalam proses purifikasi biogas hingga mampu menghasilkan PCC dalam dilihat pada gambar III.1



**Gambar III.1** Skema Proses Purifikasi Biogas dan Precipitated Calcium Carbonated

### III.1.3 Seleksi Proses Pembentukan PCC

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) adalah senyawa kimia yang memiliki rumus  $\text{CaCO}_3$ . Akan tetapi PCC memiliki struktur kristal yang berbeda yang biasa disebut dengan kalsit. Bentuk lain adalah struktur struktur yang biasa disebut dengan aragonite, yang lebih sedikit ditemukan. Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dapat dihasilkan melalui beberapa proses sebagai berikut:

1. Proses Calcium Chloride-Sodium Carbonate Double Decomposition (Calcium Chloride Process)

2. Proses Lime-Soda

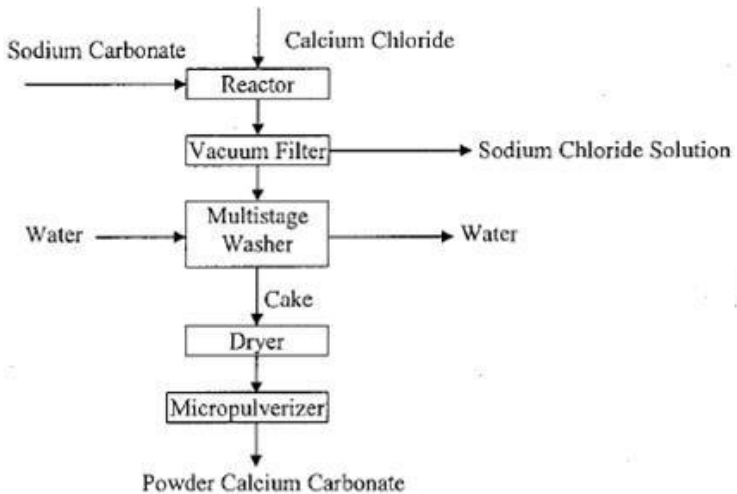
3. Proses Karbonasi

### III.1.3.1 Calcium Chloride-Sodium Carbonate Double Decomposition Method

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



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



**Gambar III.2** Proses Pembuatan PCC dengan Metode Double Decomposition

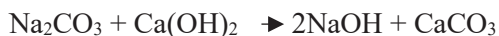
(Shahinoor, 2007)



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

### III.1.3.2 Lime-Soda

Proses Lime-Soda, disebut juga kausitasi, merupakan metode klasik untuk menghasilkan soda kaustik (soda hidroksida). Proses ini biasanya digunakan oleh pabrik alkali, dimana tujuan utamanya adalah me-recovery sodium hidroksida sedangkan *precipitated calcium carbonate* mentah hanya sebagai *by-product*. Pada proses ini, larutan sodium karbonat direaksikan dengan kalsium hidroksida berlebih untuk menghasilkan sodium hidroksid cair dan *by-product* berupa *precipitated calcium carbonate* (PCC). Proses berlangsung pada suhu 30-60°C dengan konversi rata-rata < 90 %. Kualitas PCC yang dihasilkan dari proses ini kurang baik karena distribusi ukuran partikel PCC sangat beragam serta kandungan residu Ca(OH)<sub>2</sub> yang berlebih. Selain itu, pembuatan kaustik soda dengan metode ini mulai digantikan dengan metode elektrolisis.

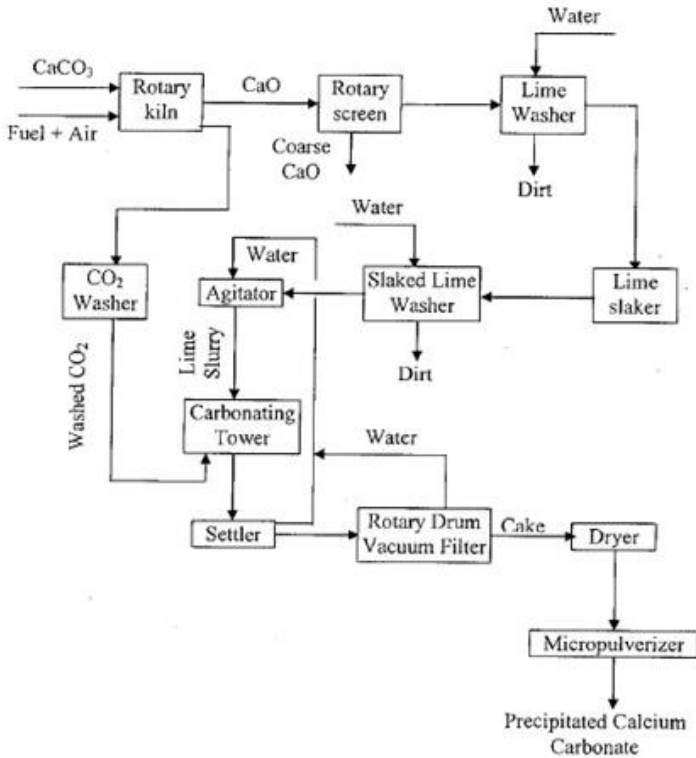


(Shahinoor, 2007)

### III.1.3.3 Carbonation Method

*Limestone* dikalsinasi di dalam kiln untuk membentuk karbon dioksida dan *quicklime*. Secara umum, produk-produk ini dipurifikasi secara terpisah sebelum digabungkan kembali. *Quicklime* dicampur dengan air sehingga

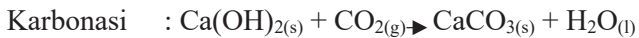
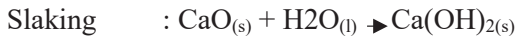
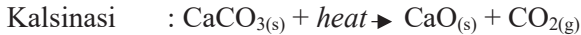
menghasilkan *milk of lime* atau *dry hydrated lime* dimana keduanya adalah kalsium hidroksida. Ketika *dry hydrate* digunakan pada proses selanjutnya maka air akan ditambahkan untuk menghasilkan *milk of lime slurry*. **Gambar III.3** menunjukkan proses produksi PCC dengan metode karbonasi.



**Gambar III.3** Proses pembuatan PCC dengan Metode Karbonasi

(Shahinoor, 2007)

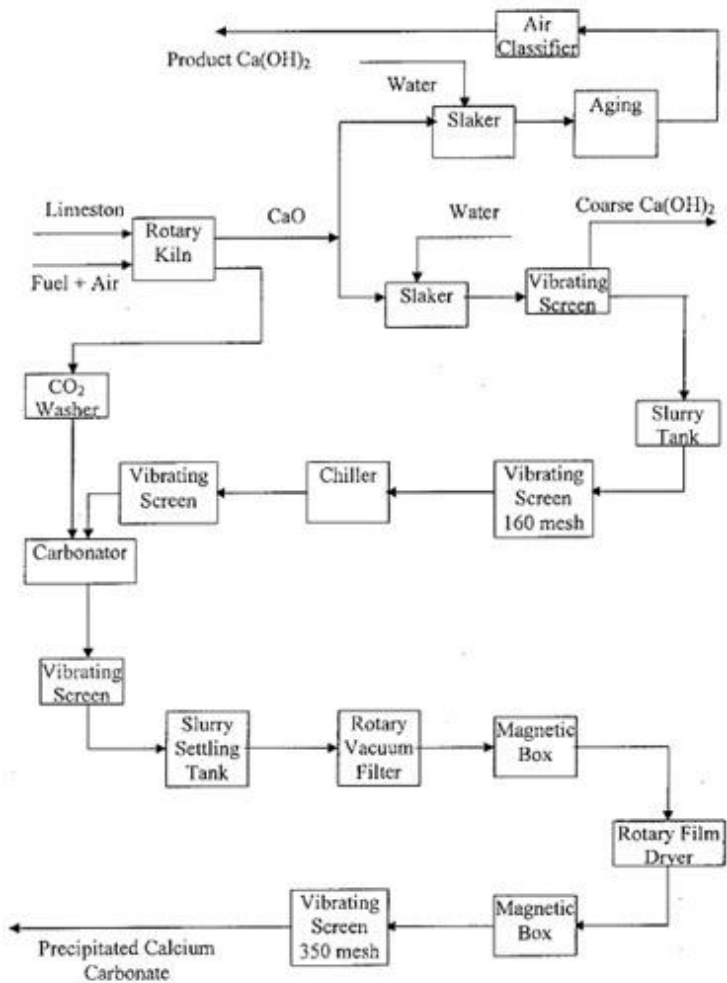
Pada proses karbonasi, karbon dioksida yang telah didinginkan dan dipurifikasi akan dilewatkan dalam bentuk gelembung melewati *milk of lime* pada reaktor yang disebut karbonator. Di akhir proses ini akan ada peengukur pH. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Produk karbonasi selanjutnya dapat lebih jauh dipurifikasi dengan menghilangkan zat pengotor yang tersisa pada *milk of lime* sebagai partikel kasar sebagai perbandingan untuk ukuran micrometer. Penyaringan ini juga digunakan untuk mengontrol ukuran maksimum dari produk. Pencucian filter cake tidak diperlukan dikarenakan air adalah satu-satunya produk samping dari karbonasi. Padatan filter cake secara umum mengandung  $\text{CaCO}_3$  sebanyak 25-60%, dipengaruhi pada ukuran partikel dari PCC. Pengeringan akhir menggunakan rotary film, tunnel, spray, atau flash dryer. Hasil yang kering biasanya tidak terintegrasi dalam micropulverizer. Penggilingan material diangkut menuju storage bin yang besar untuk bulk loading atau packing dalam karung.

Beberapa kelas pelapisan dapat digunakan untuk aplikasi yang special. PCC dilapisi untuk meningkatkan flow properties, processing, dan physical properties dari produk akhir. Asam lemak, resins, dan bahan basah digunakan sebagai material pelapisan sebelum atau sesudah pengeringan.

Crescent chemicals melakukan set up pada plant untuk produksi PCC di dekat Dhaka. Block diagram pada plant tersebut dapat dilihat pada **Gambar III.4**



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

### III.1.4 Pemilihan Proses Pembuatan PCC

Di antara proses pembuatan PCC, perbandingan proses dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel III.4** Perbandingan Proses Pembuatan PCC

| <u>Pembanding</u>        | Proses Double Decomposition | Proses Lime Soda                  | Proses <u>Karbonasi dan Kalsinasi</u> |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| <u>Temperatur Reaksi</u> | 65°C                        | 55°C                              | 30-60°C                               |
| <u>Tekanan Operasi</u>   | <u>Atmosferik</u>           | <u>Atmosferis atau bertekanan</u> | <u>Atmosferis atau 2-10 atm</u>       |
| <u>Konversi</u>          | 80%                         | <90%                              | 95%                                   |
| <u>Bahan Baku</u>        | CaCl <sub>2</sub>           | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | CaCO <sub>3</sub>                     |

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.1.5 Pemilihan Solid-Liquid Separator

Produk dari reaktor karbonasi,  $\text{CaCO}_3$  masih menyatu dengan liquid  $\text{NH}_4\text{Cl}$  maka perlu dipisahkan terlebih dahulu untuk mendapatkan  $\text{CaCO}_3$  murni sedangkan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  akan direcycle dan digunakan lagi pada tahap ekstraksi. Dalam proses pemisahan produk PCC dengan liquid, terdapat beberapa metode yang digunakan seperti pada **Tabel III.5** berikut :

**Tabel III.5** 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                    | Duruk                   | Sedang                   | Sedang          | Sangat Rendah   |
| Cyclones                     | Duruk - 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)

Bedasarkan perbandingan di atas, jenis separator yang digunakan 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.

### III.1.6 Pemilihan Dryer

Perbandingan antara berbagai jenis dryer yang dapat diaplikasikan pada pengeringan

PCC dapat dilihat pada **Tabel III.6**

**Tabel III.6** Perbandingan Jenis Dryer

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

(Fellow, 1988)

Bedasarkan perbandingan pada **Tabel III.6**, jenis dryer yang digunakan adalah rotary dryer (direct), hal itu dikarenakan beberapa hal berikut yaitu :

1. Efisiensi yang tinggi mencapai hingga 90%
2. Fase dari *feed* yang masuk berupa solid dengan moisture content yang tinggi (mencapai sekitar 95%) serta ukuran partikel yang kecil.

### III.1.7 Pemilihan Pompa

Tabel III.7 Perbandingan Jenis Pompa

| <u>Tipe</u>          | <u>Jenis</u>          | <u>Efficiency (%)</u> | <u>kapasitas (rpm)</u> | <u>Advantages</u>               |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|
| <i>Centrifugal</i>   | Single Stage          | 80                    | 5000                   | <u>Biaya murah</u>              |
|                      | Multistage            | 85                    | 11000                  | <u>Untuk kapasitas tinggi</u>   |
| <i>Peristaltic</i>   | peristaltic           | 85                    | 2000                   | <u>Dapat mengalirkan slurry</u> |
| <i>Reciprocating</i> | <u>piston plunger</u> | 85                    | 10000                  | <u>Untuk tekanan tinggi</u>     |
|                      | metering              | 20                    | 10                     | <u>Untuk kapasitas rendah</u>   |
|                      | <u>diaphragm</u>      | 20                    | 100                    | <u>Perawatan mudah</u>          |

(Chemical Proses and Design)

Berdasarkan tabel perbandingan pompa diatas,maka *centrifugal pump single stage* dipilih untuk mengalirkan liquid karena memiliki biaya yang murah dan kapasitas menengah. untuk mengalirkan slurry digunakan *peristaltic pump* karena sistem kerja yang sesuai untuk mengalirkan slurry pada liquid .

### III.1.8 Pemilihan Kompresor

Tabel III.8 Perbandingan Jenis Compress

| <u>Jenis</u>         | <u>Efficiency (%)</u> | <u>Max Pressure (bar)</u> |
|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| <i>Centrifugal</i>   | 70                    | 340                       |
| <i>Axial Flow</i>    | 75                    | 9                         |
| <i>Reciprocating</i> | 70                    | 2400                      |
| <i>Rotary</i>        | 80                    | 6                         |

(Chemical Proses and Design)

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



lain. Centrifugal kompresor dipilih karena memiliki tekanan yang cukup tinggi untuk menaikkan tekan sesuai kebutuhan.

### III.1.9 Pemilihan Adsorber untuk Menghilangkan Kandungan H<sub>2</sub>S

Terdapat berbagai macam jenis adsorben yang dapat digunakan dalam menghilangkan kandungan H<sub>2</sub>S pada biogas, seperti activated carbon, silica gel, zeolit dan sebagainya. Berikut ini adalah perbandingan masing-masing adsorben:

**Tabel III.9** Perbandingan Jenis Adsorben

| <u>Adsorben</u>                                    | <u>Kapasitas Adsorpsi (mg H<sub>2</sub>S/gram adsorben)</u> |
|--|---|
| Activated Carbon + NaOH                            | 0,4   |
| Activated Carbon + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 1,56  |
| Activated Carbon + KOH                             | 1,58  |
| <u>FeO</u>   | 0,113   |
| Soil Laterite                                      | 15  |

Maka dipilih soil laterite sebagai adsorben dengan pertimbangan:

1. Kapasitas adsorpsi yang paling tinggi di antara adsorben yang lain
2. Ekonomis
3. Mudah diperoleh di Indonesia
4. Dapat direaksikan pada suhu ruangan

## III.2 Uraian Proses

### III.2.1 Pabrik Purifikasi Biogas

Proses purifikasi biogas meliputi 4 tahap pokok proses, yaitu :

1. Tahap *pre-treatment* biogas
2. Tahap *pre-treatment blast furnace steel slag*
3. Tahap karbonasi
4. Tahap kompresi biogas menjadi *compressed biomethane gas*

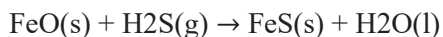
#### III.2.1.1 Tahap *pre-treatment* biogas A. *Pre-Treatment Soil Laterite*

Biomethane memiliki kandungan  $H_2S$  dan  $CO_2$  sebagai impuritis. Pemurnian biomethane dari  $H_2S$  perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan karbonasi untuk menghilangkan  $CO_2$ . Salah satu cara menghilangkan  $H_2S$  dari biomethane adalah dengan metode adsorpsi. Soil laterite digunakan sebagai adsorben untuk menyerap  $H_2S$ . Soil laterite yang digunakan berasal dari Kabupaten Majalengka, Jawa Barat telah memiliki ukuran sebesar (6 mesh atau 3,35 mm sampai 21 mesh atau 850  $\mu m$ ) dengan *moisture content* sebesar (18,86)%. Lalu soil laterite yang sudah diterima, disimpan terlebih dahulu pada Soil Laterite Storage (F-112) dengan kapasitas 3,49  $m^3$ .

#### B. Tahapan *gas sweetening*

Tahapan *gas sweetening* dimaksudkan untuk menghilangkan senyawa  $H_2S$  dalam biogas sehingga biogas tidak bersifat korosif dan berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Kandungan senyawa  $H_2S$  dalam biogas sebesar

1%, meskipun kandungannya kecil harus tetap dihilangkan. Biogas yang diperoleh dari PT Enero dengan *rate* 100 m<sup>3</sup>/jam, tekanan 1 bar, dan suhu 28°C. Biogas akan dialirkan menuju *fixed bed column* (R-110) dimana akan terjadi proses adsorpsi dengan *soil laterite*. Sebelum masuk ke *fixed bed column* (R-110), biogas dikompresi terlebih dahulu menggunakan *compressor* (G-111) untuk menaikkan tekanan dari biogas (1 bar) sehingga sesuai dengan tekanan yang ada di *laterite soil fixed bed* (R-110) yaitu 2,7 bar. *Cooler* (E-113) juga digunakan untuk menurunkan suhu dari biogas yang panas (124,9 °C) menjadi 35°C. Di dalam *fixed bed column* (R-110) terjadi reaksi adsorpsi antara *laterite soil* yang mengandung senyawa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan senyawa H<sub>2</sub>S dari biogas dimana tanah laterite berperan sebagai *adsorben*. Reaksi antara tanah laterite dengan senyawa H<sub>2</sub>S sebagai berikut :



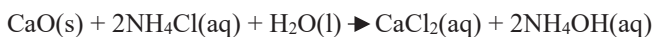
Dengan reaksi adsorpsi ini akan menghilangkan senyawa H<sub>2</sub>S dan membentuk senyawa FeS sehingga biogas tidak memiliki senyawa yang bersifat korosif dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Proses berlangsung selama 60 menit. (Adisasmito, 2015). Selanjutnya Biogas yang sudah tidak mengandung H<sub>2</sub>S dialirkan menuju *Bubble Column Reactor* (R-210) dan (R-220). *Fixed bed column* (R-110) yang digunakan ada dua dan dioperasikan secara bergantian sehingga jika *fixed bed column* yang digunakan akan dibersihkan dapat digantikan oleh *fix bed column* yang lain.

### III.2.1.2 Tahap *pre-treatment blast furnace steel slag*

#### A. Tahap Ekstraksi

Biomethane sebagai feed untuk pabrik purifikasi ini, terbentuk dari proses biodigester oleh PT. Enero dengan

kemurnian CH<sub>4</sub> sebesar 61% dimana sisanya berupa impuritis seperti CO<sub>2</sub> sebesar 38% dan H<sub>2</sub>S sebesar 1%. Impuritis 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 steel slag* (GGBFS). GGBFS sebagai kalium oksida yang digunakan sebagai feed dengan kemurnian 45,2% memiliki ukuran sebesar 3 mm. *Blast furnace steel slag* dari storage dibawa dengan *belt conveyor* (J-122) menuju *ball mill* (C123) untuk melalui proses grinding hingga ukuran *Blast furnace steel slag* mencapai 125 μm. *Blast furnace steel slag* kemudian diekstraksi dengan NH<sub>4</sub>Cl pada temperature 45°C pada *continus stirred tank reactor* (R-120) dengan *axial flow impeller* dan waktu tinggal 100-120 menit untuk menghasilkan slurry hasil reaksi CaO dengan NH<sub>4</sub>Cl. Perbandingan massa NH<sub>4</sub>Cl dan *Steel Slag* adalah 1:5. CaO yang terlarut memudahkan terbentuknya NH<sub>4</sub>OH. Reaksi yang terjadi:



Suhu 45 °C adalah suhu optimum CaO dapat larut dengan NH<sub>4</sub>Cl sehingga CaO bisa terekstraksi sempurna sedangkan kandungan lain selain CaO masih dalam bentuk endapan.

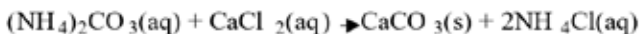
## **B. Tahap Filtrasi**

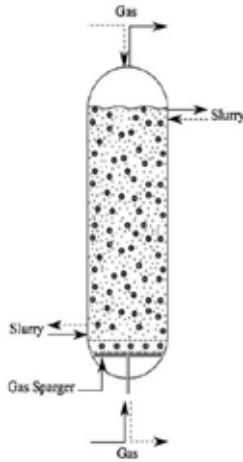
Slurry yang keluar dari *continus stirred tank reactor* (R-120) kemudian dipindahkan menuju *plate and frame filter press* (H-211) menggunakan pompa (L-213). Di dalam *plate and frame filter press* (H-211), *slurry* akan difiltrasi sehingga berkumpul menjadi kumpulan *slurry* yang lebih pekat konsentrasinya. Lalu, kumpulan *slurry* tersebut akan ditekan secara bertahap sehingga membentuk *cake* yang

seragam dalam *filter plate*. Kemudian, dengan bantuan *compressor* yang terdapat di dalam *plate and frame filter press* (H-211), udara akan dipompakan memasuki rongga-rongga *filter plate* untuk membuat *cake* yang terbentuk tadi berkurang kandungan airnya menjadi sekitar 20%. *Filtrat* yang terbentuk dalam *plate and frame filter press* (H-211) akan dipindahkan menuju *Bubble Column Reactor* (R-210) dan (R-220) dengan menggunakan pompa (L-212). Sedangkan *cake* yang dihasilkan menjadi limbah yang akan diolah oleh pihak ketiga.

### III.2.1.3 Tahap Karbonasi

Filtrat yang berasal dari *plate and frame filter press* (H-211) selanjutnya akan dialirkan menuju *Bubble Column Reactor* (R-210) dan (R-220). Kondisi operasi pada *bubble column reactor* pada suhu 60 °C dan tekanan 2 atm. Suhu larutan saat memasuki *bubble column reactor* (R-210) dan (R-220) adalah 60°C dengan tekanan 2 atm. Sedangkan biogas bersuhu 64,67 °C dengan tekanan 2 atm. Kondisi operasi reaktor pada suhu 60 °C dan tekanan 1 atm, biogas dengan *compressor* (G-111). Reaksi yang terjadi pada reaktor adalah sebagai berikut :





**Gambar III.5** Bubble Column Reactor

*Bubble Column Reactor* (R-210) memiliki tinggi 34,3 ft atau 10,4 meter dan *Bubble Column Reactor* (R-220) memiliki tinggi 29,8 ft atau 9,08 meter. Waktu tinggal masing masing reactor adalah 1,5 jam. Aliran yang digunakan adalah *counter current* dengan produk  $\text{CaCO}_3$  akan mengalir dari atas kebawah dan produk biogas akan mengalir dari bawah ke atas. *Biomethane* yang keluar telah mengandung 95% kemurnian. Selanjutnya biomethane dialirkan menuju *Knock Out Drum* (H-340) untuk dihilangkan kadar airnya. Sedangkan produk  $\text{CaCO}_3$  selanjutnya dialirkan menuju *thickener* (H-310).

#### **III.2.1.4 Tahap Kompresi Biogas Menjadi *Compressed Biomethane Gas***

Biogas yang telah dipurifikasi akan dijual dalam bentuk *compressed biomethane* sehingga diperlukan beberapa tahap

untuk mengubah *purified biogas* menjadi *compressed biomethane*.

#### **A. Tahap Penghilangan Kandungan Air**

*Biomethane* hasil *overhead product* dari *Bubble column reactor* ( R-210) dan (R220) akan dialirkan menuju *knock out drum* (H-340). Pada *knock out drum* kandungan air yang masih tersisa pada *biomethane* dipisahkan sehingga kemurnian *biomethane* semakin tinggi.

#### **B. Tahap Kompresi *Biomethane***

*Biomethane* hasil *overhead product* dari *knock out drum* (H-340) *selanjutnya akan dialirkan* menuju *multi stage compressor* (G-341). Di dalam *compressor* tekanan *biomethane* dinaikan hingga 200 psia (13,7 bar). Hal ini dilakukan dengan tujuan agar dapat mempermudah penyimpanan dan distribusi *biomethane*. Setelah mengalami kenaikan tekanan, suhu *biomethane* akan meningkat hingga (337 °C) oleh karena itu *biomethane* selanjutnya dialirkan menuju *cooler* (E-342). Di dalam *cooler* suhu *biomethane* diturunkan hingga mencapai suhu 32 °C. Setelah suhunya diturunkan, *biomethane* dialirkan menuju *spherical storage storage* (F-343) dengan kapasitas penyimpanan 791,21 ft<sup>3</sup>.

### **III.2.2 Pabrik Pembuatan PCC**

Produk PCC yang dihasilkan harus berbentuk bubuk dengan ukuran partikel 2 $\mu$ m sehingga dibutuhkan beberapa tahapan untuk memproses slurry CaCO<sub>3</sub> keluaran reaktor menjadi padatan PCC.

Proses pembuatan PCC terdiri dari beberapa tahapan yang meliputi :

1. Tahap *thickening*
2. Tahap filtrasi
3. Tahap *drying*
4. Tahap *size reduction*

### **III.2.2.1 Tahap *Thickening***

*Slurry* PCC yang keluar sebagai *bottom product* dari Bubble Column (R-210) dan

(R-220) akan mengalir menuju ke *thickener* (H-310) dimana endapan dari PCC akan diambil sedangkan liquidnya akan di recycle. Pada *thickener* (H-310) akan terjadi proses pemisahan antara padatan dan liquid yang terkandung di dalam *slurry* PCC. Padatannya akan terendapkan di dasar *thickener* sedangkan liquid akan mengalir *overflow* ke bagian permukaan dari *thickener*. Padatan yang terendap ini merupakan PCC yang sudah dipisahkan airnya sehingga tidak lagi berwujud *slurry* melainkan menjadi berwujud *sludge*. Waktu tinggal padatan pada *thickener* adalah selama 2 jam sehingga perbandingan padatan dan liquid yang terbentuk adalah 40 % solid. *Sludge* yang terbentuk akan dialirkan menuju *plate and frame filter press* (H-320) sedangkan aliran *overflow* akan dialirkan menuju storage tank (F-331) untuk selanjutnya direcycle.

### **III.2.2.2 Tahap Filtrasi**

*Sludge* PCC yang berasal dari *thickener* (H-310) dialirkan menuju ke *plate and frame filter press* (H-320) dengan menggunakan pompa (L-321). Di dalam *plate and frame filter press* (H-320), *sludge* akan difiltrasi sehingga berkumpul menjadi kumpulan *sludge* yang lebih pekat konsentrasinya. Lalu, kumpulan *sludge* tersebut akan ditekan secara bertahap sehingga membentuk *cake* yang seragam



dalam *filter plate*. Kemudian, dengan bantuan *compressor* yang terdapat di dalam *plate and frame filter press* (H-320), angin akan dipompakan memasuki rongga-rongga *filter plate* untuk membuat *cake* yang terbentuk tadi berkurang kandungan airnya menjadi sekitar 20%. *Cake* yang terbentuk dalam *plate and frame filter press* (H-320) akan dipindahkan menuju *Rotary Dryer* (B-330) dengan menggunakan *Screw conveyor* (J-333).

### **III.2.2.3 Tahap *Drying***

Pada *rotary dryer* (B-330), PCC akan dikeringkan dengan menggunakan *dry air* yang sudah dipanaskan dengan *heater* (E-337). Proses yang berlangsung pada *rotary dryer* berjalan secara *counter current* dimana *hot air* akan masuk dari ujung *rotary dryer*, sedangkan PCC dari awal *rotary dryer*. Keluaran *rotary dryer* adalah PCC dengan kandungan air 0,5% dan sudah berbentuk serbuk. Udara yang dipakai untuk mengeringkan PCC keluar dari *rotary dryer* berupa *wet air*.

PCC hasil keluaran dari *rotary dryer* (B-330) dengan kandungan air 0,5% akan dipindahkan dari *rotary dryer* menggunakan *screw conveyor* (J-333) menuju *Ball mill* (C334) *Wet air* hasil keluaran dari *rotary dryer* akan dialirkan melewati *cyclone* (H-332) dimana beberapa komponen PCC yang terbawa pada udara akan dipisahkan menggunakan *cyclone* dan akan dikembalikan menuju ke *screw conveyor* (J-333) sehingga tidak ada PCC yang ikut pada keluaran pembuangan *wet air*.

### **III.2.2.4 Tahap *Size Reduction***

PCC hasil keluaran dari *rotary dryer* (B-330) akan dipindahkan menuju ke *ball mill* (C-334) dengan menggunakan *screw conveyor* (J-333) dimana di dalam *ball mill* terjadi proses pengecilan ukuran dari PCC. Perlu adanya

proses pengecilan ukuran lagi dikarenakan PCC yang keluar dari *rotary dryer* berpeluang untuk teraglomerasi dikarenakan adanya kontak antara PCC dengan udara luar sehingga menyebabkan PCC yang awalnya keluar dari *rotary dryer* berbentuk serbuk kecil bisa menggumpal. Meskipun PCC hasil keluaran dari *rotary dryer* sudah berukuran kecil dan memenuhi standar baku mutu PCC (2  $\mu\text{m}$ ) , karena terjadi penggumpalan maka perlu dilakukan *milling* dengan menggunakan *ball mill* (C-334). PCC yang sudah di *milling* dengan *ball mill* (C-334) kemudian dipindahkan menuju ke *PCC storage* (F-336) dimana PCC akan dikemas untuk dijual. Produk PCC yang diinginkan adalah sebesar 2 $\mu\text{m}$  dan berbentuk serbuk. Semakin bagus dan semakin halus hasil PCC yang diproduksi, maka nilai jual dari PCC pun akan menjadi lebih mahal.

## BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI

### A. Neraca Massa

Basis Perhitungan 1 Jam Operasi  
Waktu Operasi 330 Hari/tahun (1 hari = 24 jam)

#### Perhitungan Jumlah Biogas Terolah

$P = 0.99 \text{ atm}$   
 $T = 308.15 \text{ K}$   
 $R = 0.08 \text{ (m}^3 \text{ atm/kmol K)}$   
 $V = 100.00 \text{ m}^3$   
 $n = 3902.91 \text{ mol}$

(www.enero.com)

### IV. 1 Komposisi Biogas PT Enero

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

**Tabel IV.1 Komposisi Biogas**

| No    | Komponen         | Fraksi Volume | Volume (m <sup>3</sup> ) | BM (g/mol) | Mol     | Massa (kg) |
|-------|------------------|---------------|--------------------------|------------|---------|------------|
| 1     | CH <sub>4</sub>  | 0.61          | 61.00                    | 16.00      | 2380.77 | 38.09      |
| 2     | CO <sub>2</sub>  | 0.38          | 38.00                    | 44.00      | 1483.10 | 65.26      |
| 3     | H <sub>2</sub> S | 0.01          | 1.00                     | 34.00      | 39.03   | 1.33       |
| TOTAL |                  | 1.00          | 100.00                   |            | 3902.91 | 104.68     |

### IV.2 Komposisi Limbah Blast Furnace Steel Slag PT Krakatau Steel

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

**Tabel IV.2 Komposisi Steel Slag**

| No    | Komponen                       | Fraksi Massa | BM (g/mol) | Fraksi x BM | Mol     | Massa (kg) |
|-------|--------------------------------|--------------|------------|-------------|---------|------------|
| 1     | CaO                            | 0.45         | 56.00      | 25.31       | 3657.52 | 204.82     |
| 2     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01         | 159.69     | 2.14        | 38.02   | 6.07       |
| 3     | SiO <sub>2</sub>               | 0.35         | 60.08      | 20.91       | 2624.56 | 157.69     |
| 4     | MgO                            | 0.01         | 40.31      | 0.40        | 111.30  | 4.49       |
| 5     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.15         | 101.96     | 15.08       | 657.31  | 67.02      |
| 6     | K <sub>2</sub> O               | 0.00         | 94.00      | 0.36        | 18.32   | 1.72       |
| 7     | Na <sub>2</sub> O              | 0.00         | 62.00      | 0.14        | 16.08   | 1.00       |
| 8     | TiO <sub>2</sub>               | 0.01         | 79.87      | 0.44        | 31.20   | 2.49       |
| 9     | SO <sub>3</sub>                | 0.02         | 80.00      | 1.39        | 98.56   | 7.88       |
| TOTAL |                                |              |            | 66.17       |         | 453.14     |

### IV.3 Komposisi Soil Laterite

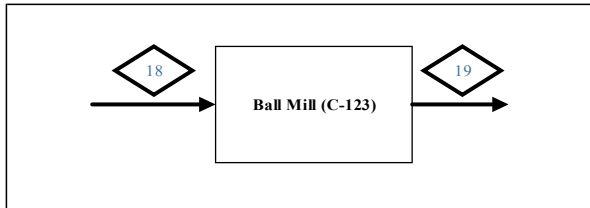
Data komposisi soil laterite disajikan dalam tabel A.3 dibawah ini:

**Tabel IV.3 Komposisi Soil Laterite**

| No | Komponen                       | Fraksi Massa | Fraksi Massa Baru | BM     | Massa |
|----|--------------------------------|--------------|-------------------|--------|-------|
| 1  | FeO                            | 0.87         | 0.75              | 71.84  | 66.20 |
| 2  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.06         | 0.05              | 101.96 | 4.38  |
| 3  | NiO                            | 0.03         | 0.02              | 74.69  | 2.13  |
| 4  | SiO <sub>2</sub>               | 0.02         | 0.02              | 60.08  | 1.74  |
| 5  | SO <sub>3</sub>                | 0.01         | 0.01              | 80.00  | 0.80  |
| 6  | MgO                            | 0.01         | 0.01              | 40.31  | 0.63  |

|       |     |      |      |       |       |
|-------|-----|------|------|-------|-------|
| 7     | CaO | 0.00 | 0.00 | 56.00 | 0.19  |
| 8     | MnO | 0.00 | 0.00 | 70.94 | 0.18  |
| 9     | H2O | 0.16 | 0.14 | 18.00 | 12.20 |
| TOTAL |     | 1.16 | 1.00 |       | 88.47 |

#### IV.4 Neraca Massa Ball Mill



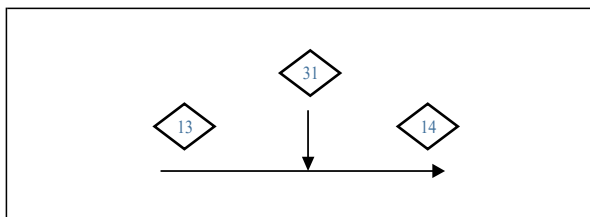
Tabel IV.4 Neraca Massa Ball Mill

| No    | Komponen | MASUK        |        | KELUAR       |        |
|-------|----------|--------------|--------|--------------|--------|
|       |          | Aliran <18>  |        | Aliran <19>  |        |
|       |          | Fraksi Massa | Massa  | Fraksi Massa | Massa  |
| 1     | CaO      | 0.45         | 204.82 | 0.45         | 204.82 |
| 2     | Fe2O3    | 0.01         | 6.07   | 0.01         | 6.07   |
| 3     | SiO2     | 0.35         | 157.69 | 0.35         | 157.69 |
| 4     | MgO      | 0.01         | 4.49   | 0.01         | 4.49   |
| 5     | Al2O3    | 0.15         | 67.02  | 0.15         | 67.02  |
| 6     | K2O      | 0.00         | 1.72   | 0.00         | 1.72   |
| 7     | Na2O     | 0.00         | 1.00   | 0.00         | 1.00   |
| 8     | TiO2     | 0.01         | 2.49   | 0.01         | 2.49   |
| 9     | SO3      | 0.02         | 7.88   | 0.02         | 7.88   |
| TOTAL |          | 1.00         | 453.19 | 1.00         | 453.19 |

Tabel IV.4 Neraca Massa Ball Mill (Lanjutan)

| Massa Masuk (kg) |        | Massa Keluar (kg) |        |
|------------------|--------|-------------------|--------|
| Aliran <8>       | 453.19 | Aliran <9>        | 453.19 |
| Total            | 453.19 | Total             | 453.19 |

#### IV.5 Neraca Massa Recycle



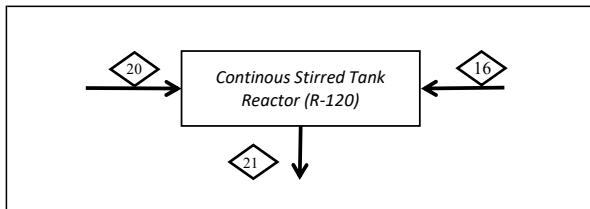
#### IV.5 Tabel Neraca Massa Recycle

| No.   | Komponen | Masuk        |        |              |         | Keluar       |         |
|-------|----------|--------------|--------|--------------|---------|--------------|---------|
|       |          | Aliran <13>  |        | Aliran <31>  |         | <14> Aliran  |         |
|       |          | Fraksi Massa | Massa  | Fraksi Massa | Massa   | Fraksi massa | Massa   |
| 1     | CaO      | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.13    | 0.00         | 0.13    |
| 2     | Fe2O3    | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.01    | 0.00         | 0.01    |
| 3     | SiO2     | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.17    | 0.00         | 0.17    |
| 4     | MgO      | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00    |
| 5     | Al2O3    | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.07    | 0.00         | 0.07    |
| 6     | K2O      | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00    |
| 7     | Na2O     | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00    |
| 8     | TiO2     | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00    |
| 9     | SO3      | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.01    | 0.00         | 0.01    |
| 10    | NH4Cl    | 1.00         | 49.89  | 0.10         | 434.98  | 0.10         | 484.86  |
| 11    | H2O      | 8.67         | 436.14 | 0.89         | 3778.40 | 0.89         | 4214.54 |
| 12    | CaCO3    | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 14.71   | 0.00         | 14.71   |
| Total |          | 9.67         | 486.03 |              | 4228.49 | 0.00         | 4714.52 |

#### Tabel IV.5 Neraca Massa Recycle (Lanjutan)

| Massa Masuk (kg) |         | Massa Keluar (kg) |         |
|------------------|---------|-------------------|---------|
| Aliran <13>      | 486.03  | Aliran <14>       | 4714.52 |
| Aliran <31>      | 4228.49 |                   |         |
| Total            | 4714.52 | Total             | 4714.52 |

#### IV.6 Neraca Massa Continus Stirred Tank Reactor



#### Tabel IV.6 Neraca Massa Continus Stirred Tank Reactor

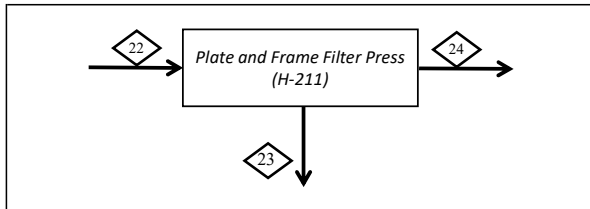
| No | Komponen | MASUK        |        |              |       | KELUAR       |        |
|----|----------|--------------|--------|--------------|-------|--------------|--------|
|    |          | Aliran <20>  |        | Aliran <16>  |       | Aliran <21>  |        |
|    |          | Fraksi Massa | Massa  | Fraksi Massa | Massa | Fraksi Massa | Massa  |
| 1  | CaO      | 0.45         | 204.82 | 0.00         | 0.13  | 0.02         | 120.84 |
| 2  | Fe2O3    | 0.01         | 6.07   | 0.00         | 0.01  | 0.00         | 6.07   |
| 3  | SiO2     | 0.35         | 157.69 | 0.00         | 0.17  | 0.03         | 157.69 |
| 4  | MgO      | 0.01         | 4.49   | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 4.49   |
| 5  | Al2O3    | 0.15         | 67.02  | 0.00         | 0.07  | 0.01         | 67.02  |
| 6  | K2O      | 0.00         | 1.72   | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 1.72   |
| 7  | Na2O     | 0.00         | 1.00   | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 1.00   |
| 8  | TiO2     | 0.01         | 2.49   | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 2.49   |

|       |       |      |        |      |         |      |         |
|-------|-------|------|--------|------|---------|------|---------|
| 9     | SO3   | 0.02 | 7.88   | 0.00 | 0.01    | 0.00 | 7.88    |
| 10    | NH4Cl | 0.00 | 0.00   | 0.10 | 484.86  | 0.06 | 324.41  |
| 11    | H2O   | 0.00 | 0.00   | 0.90 | 4214.54 | 0.81 | 4187.55 |
| 12    | CaCl2 | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00    | 0.03 | 166.45  |
| 13    | NH4OH | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00    | 0.02 | 104.97  |
| TOTAL |       | 1.00 | 453.19 | 1.00 | 4699.80 | 1.00 | 5152.59 |

**Tabel IV.6 Neraca Massa Continus Stirred Tank Reactor (lanjutan)**

| Massa Masuk (kg) |         | Massa Keluar (kg) |         |
|------------------|---------|-------------------|---------|
| Aliran <16>      | 453.19  | Aliran <21>       | 5152.59 |
| Aliran <20>      | 4699.80 |                   |         |
| Total            | 5152.99 | Total             | 5152.59 |

#### IV.7 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press



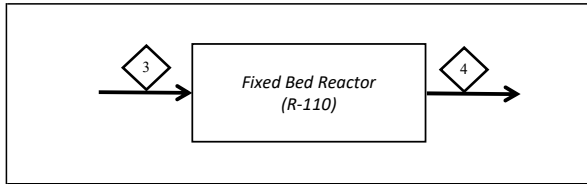
#### IV.7 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press

| No    | Komponen | MASUK        |         | KELUAR       |        |              |         |
|-------|----------|--------------|---------|--------------|--------|--------------|---------|
|       |          | Aliran <22>  |         | Aliran <23>  |        | Aliran <24>  |         |
|       |          | Fraksi Massa | Massa   | Fraksi Massa | Massa  | Fraksi Massa | Massa   |
| 1     | CaO      | 0.02         | 120.84  | 0.14         | 119.64 | 0.00         | 1.21    |
| 2     | Fe2O3    | 0.00         | 6.07    | 0.01         | 6.01   | 0.00         | 0.06    |
| 3     | SiO2     | 0.03         | 157.69  | 0.19         | 156.12 | 0.00         | 1.58    |
| 4     | MgO      | 0.00         | 4.49    | 0.01         | 4.44   | 0.00         | 0.04    |
| 5     | Al2O3    | 0.01         | 67.02   | 0.08         | 66.35  | 0.00         | 0.67    |
| 6     | K2O      | 0.00         | 1.72    | 0.00         | 1.70   | 0.00         | 0.02    |
| 7     | Na2O     | 0.00         | 1.00    | 0.00         | 0.99   | 0.00         | 0.01    |
| 8     | TiO2     | 0.00         | 2.49    | 0.00         | 2.47   | 0.00         | 0.02    |
| 9     | SO3      | 0.00         | 7.88    | 0.01         | 7.81   | 0.00         | 0.08    |
| 10    | NH4Cl    | 0.06         | 324.41  | 0.04         | 32.44  | 0.07         | 291.97  |
| 11    | H2O      | 0.81         | 4187.55 | 0.50         | 418.75 | 0.87         | 3768.79 |
| 12    | CaCl2    | 0.03         | 166.45  | 0.02         | 16.65  | 0.03         | 149.81  |
| 13    | NH4OH    | 0.02         | 104.97  | 0.01         | 10.50  | 0.02         | 94.47   |
| TOTAL |          | 1.00         | 5152.59 | 1.00         | 843.86 | 1.00         | 4308.73 |

**Tabel IV.7 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (lanjutan)**

| Massa Masuk (kg) |         | Massa Keluar (kg) |         |
|------------------|---------|-------------------|---------|
| Aliran <22>      | 5152.59 | Aliran <23>       | 843.86  |
|                  |         | Aliran <24>       | 4308.73 |
| Total            | 5152.59 | Total             | 5152.59 |

#### IV.8 Neraca Massa Fixed Bed Reactor



Tabel IV.8 Neraca Massa Fixed Bed Reactor

| No    | Komponen                       | MASUK        |        |
|-------|--------------------------------|--------------|--------|
|       |                                | Aliran <3>   |        |
|       |                                | Fraksi Massa | Massa  |
| 1     | FeO                            | 0.00         | 0.00   |
| 2     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00         | 0.00   |
| 3     | NiO                            | 0.00         | 0.00   |
| 4     | SiO <sub>2</sub>               | 0.00         | 0.00   |
| 5     | SO <sub>3</sub>                | 0.00         | 0.00   |
| 6     | MgO                            | 0.00         | 0.00   |
| 7     | CaO                            | 0.00         | 0.00   |
| 8     | MnO                            | 0.00         | 0.00   |
| 9     | CH <sub>4</sub>                | 0.36         | 38.09  |
| 10    | CO <sub>2</sub>                | 0.62         | 65.26  |
| 11    | H <sub>2</sub> S               | 0.01         | 1.33   |
| 12    | H <sub>2</sub> O               | 0.00         | 0.00   |
| 13    | FeS                            | 0.00         | 0.00   |
| TOTAL |                                | 1.00         | 104.68 |

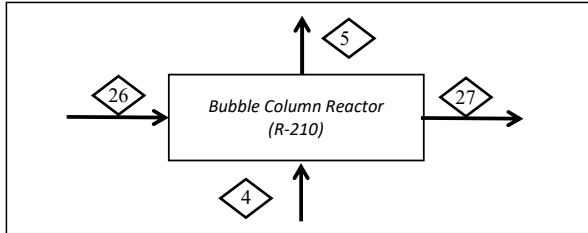
Tabel IV.8 Neraca Massa Fixed Bed Reactor (lanjutan)

| No    | Komponen                       | KELUAR       |        |
|-------|--------------------------------|--------------|--------|
|       |                                | Aliran <4>   |        |
|       |                                | Fraksi Massa | Massa  |
| 1     | FeO                            | 0.00         | 0.00   |
| 2     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00         | 0.00   |
| 3     | NiO                            | 0.00         | 0.00   |
| 4     | SiO <sub>2</sub>               | 0.00         | 0.00   |
| 5     | SO <sub>3</sub>                | 0.00         | 0.00   |
| 6     | MgO                            | 0.00         | 0.00   |
| 7     | CaO                            | 0.00         | 0.00   |
| 8     | MnO                            | 0.00         | 0.00   |
| 9     | CH <sub>4</sub>                | 0.37         | 38.09  |
| 10    | CO <sub>2</sub>                | 0.63         | 65.26  |
| 11    | H <sub>2</sub> S               | 0.00         | 0.00   |
| 12    | H <sub>2</sub> O               | 0.00         | 0.00   |
| 13    | FeS                            | 0.00         | 0.00   |
| TOTAL |                                | 1.00         | 103.35 |

**Tabel IV.8 Neraca Massa Fixed Bed Reactor (lanjutan)**

| Massa Masuk (kg) |        | Massa Keluar (kg) |        |
|------------------|--------|-------------------|--------|
| Aliran <3>       | 104.68 | Aliran <4>        | 103.35 |
|                  |        | H2S Terabsorb     | 1.33   |
| Total            | 104.68 | Total             | 104.68 |

**IV.9 Neraca Massa Bubble Column Reactor (R-210)**



**Tabel IV.9 Neraca Massa Bubble Column Reactor**

| No    | Komponen  | MASUK        |         |              |        |
|-------|-----------|--------------|---------|--------------|--------|
|       |           | Aliran <26>  |         | Aliran <4>   |        |
|       |           | Fraksi Massa | Massa   | Fraksi Massa | Massa  |
| 1     | CaO       | 0.00         | 0.93    | 0.00         | 0.00   |
| 2     | Fe2O3     | 0.00         | 0.05    | 0.00         | 0.00   |
| 3     | SiO2      | 0.00         | 1.21    | 0.00         | 0.00   |
| 4     | MgO       | 0.00         | 0.03    | 0.00         | 0.00   |
| 5     | Al2O3     | 0.00         | 0.52    | 0.00         | 0.00   |
| 6     | K2O       | 0.00         | 0.01    | 0.00         | 0.00   |
| 7     | Na2O      | 0.00         | 0.01    | 0.00         | 0.00   |
| 8     | TiO2      | 0.00         | 0.02    | 0.00         | 0.00   |
| 9     | SO3       | 0.00         | 0.06    | 0.00         | 0.00   |
| 10    | NH4Cl     | 0.07         | 224.59  | 0.00         | 0.00   |
| 11    | H2O       | 0.87         | 2899.07 | 0.00         | 0.00   |
| 12    | CaCl2     | 0.03         | 115.24  | 0.00         | 0.00   |
| 13    | NH4OH     | 0.02         | 72.67   | 0.00         | 0.00   |
| 14    | (NH4)2CO3 | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00   |
| 15    | CaCO3     | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00   |
| 16    | CH4       | 0.00         | 0.00    | 0.37         | 38.09  |
| 17    | CO2       | 0.00         | 0.00    | 0.63         | 65.26  |
| 18    | H2S       | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00   |
| TOTAL |           | 1.00         | 3314.41 | 1.00         | 103.35 |



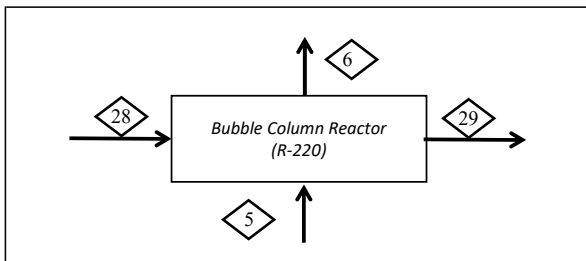
**Tabel IV.9 Neraca Massa Bubble Column Reactor (lanjutan)**

| No    | Komponen  | KELUAR       |         |              |       |
|-------|-----------|--------------|---------|--------------|-------|
|       |           | Aliran <27>  |         | Aliran <5>   |       |
|       |           | Fraksi Massa | Massa   | Fraksi Massa | Massa |
| 1     | CaO       | 0.00         | 0.93    | 0.00         | 0.00  |
| 2     | Fe2O3     | 0.00         | 0.05    | 0.00         | 0.00  |
| 3     | SiO2      | 0.00         | 1.21    | 0.00         | 0.00  |
| 4     | MgO       | 0.00         | 0.03    | 0.00         | 0.00  |
| 5     | Al2O3     | 0.00         | 0.52    | 0.00         | 0.00  |
| 6     | K2O       | 0.00         | 0.01    | 0.00         | 0.00  |
| 7     | Na2O      | 0.00         | 0.01    | 0.00         | 0.00  |
| 8     | TiO2      | 0.00         | 0.02    | 0.00         | 0.00  |
| 9     | SO3       | 0.00         | 0.06    | 0.00         | 0.00  |
| 10    | NH4Cl     | 0.10         | 335.68  | 0.00         | 0.00  |
| 11    | H2O       | 0.87         | 2917.76 | 0.00         | 0.00  |
| 12    | CaCl2     | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| 13    | NH4OH     | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| 14    | (NH4)2CO3 | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| 15    | CaCO3     | 0.03         | 103.82  | 0.00         | 0.00  |
| 16    | CH4       | 0.00         | 0.00    | 0.66         | 38.09 |
| 17    | CO2       | 0.00         | 0.00    | 0.34         | 19.58 |
| 18    | H2S       | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| TOTAL |           | 1.00         | 3360.09 | 1.00         | 57.67 |

**Tabel IV.9 Neraca Massa Bubble Column Reactor (lanjutan)**

| Massa Masuk (kg)    | Massa Keluar (kg)   |
|---------------------|---------------------|
| Aliran <26> 3314.41 | Aliran <27> 3360.09 |
| Aliran <4> 103.35   | Aliran <5> 57.67    |
| Total 3417.76       | Total 3417.76       |

**IV.10 Neraca Massa Bubble Column Reactor (R-220)**



**Tabel IV.10 Neraca Massa Bubble Column Reactor**

| No | Komponen | MASUK        |       |              |       |
|----|----------|--------------|-------|--------------|-------|
|    |          | Aliran <28>  |       | Aliran <5>   |       |
|    |          | Fraksi Massa | Massa | Fraksi Massa | Massa |
| 1  | CaO      | 0.00         | 0.28  | 0.00         | 0.00  |

|       |           |      |        |      |       |
|-------|-----------|------|--------|------|-------|
| 2     | Fe2O3     | 0.00 | 0.01   | 0.00 | 0.00  |
| 3     | SiO2      | 0.00 | 0.36   | 0.00 | 0.00  |
| 4     | MgO       | 0.00 | 0.01   | 0.00 | 0.00  |
| 5     | Al2O3     | 0.00 | 0.15   | 0.00 | 0.00  |
| 6     | K2O       | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00  |
| 7     | Na2O      | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00  |
| 8     | TiO2      | 0.00 | 0.01   | 0.00 | 0.00  |
| 9     | SO3       | 0.00 | 0.02   | 0.00 | 0.00  |
| 10    | NH4Cl     | 0.07 | 67.38  | 0.00 | 0.00  |
| 11    | H2O       | 0.87 | 869.72 | 0.00 | 0.00  |
| 12    | CaCl2     | 0.03 | 34.57  | 0.00 | 0.00  |
| 13    | NH4OH     | 0.02 | 21.80  | 0.00 | 0.00  |
| 14    | (NH4)2CO3 | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00  |
| 15    | CaCO3     | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00  |
| 16    | CH4       | 0.00 | 0.00   | 0.66 | 38.09 |
| 17    | CO2       | 0.00 | 0.00   | 0.34 | 19.58 |
| 18    | H2S       | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00  |
| TOTAL |           | 1.00 | 994.32 | 1.00 | 57.67 |

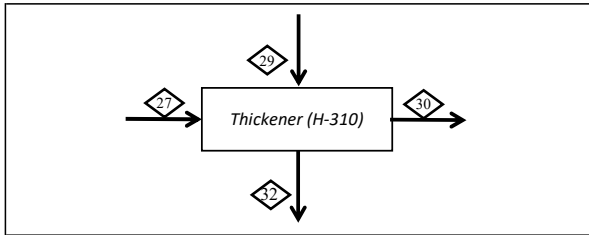
**Tabel IV.10 Neraca Massa Bubble Column Reactor (lanjutan)**

| No    | Komponen  | KELUAR       |         |              |       |
|-------|-----------|--------------|---------|--------------|-------|
|       |           | Aliran <29>  |         | Aliran <6>   |       |
|       |           | Fraksi Massa | Massa   | Fraksi Massa | Massa |
| 1     | CaO       | 0.00         | 0.28    | 0.00         | 0.00  |
| 2     | Fe2O3     | 0.00         | 0.01    | 0.00         | 0.00  |
| 3     | SiO2      | 0.00         | 0.36    | 0.00         | 0.00  |
| 4     | MgO       | 0.00         | 0.01    | 0.00         | 0.00  |
| 5     | Al2O3     | 0.00         | 0.15    | 0.00         | 0.00  |
| 6     | K2O       | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| 7     | Na2O      | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| 8     | TiO2      | 0.00         | 0.01    | 0.00         | 0.00  |
| 9     | SO3       | 0.00         | 0.02    | 0.00         | 0.00  |
| 10    | NH4Cl     | 0.03         | 100.70  | 0.00         | 0.00  |
| 11    | H2O       | 0.26         | 872.81  | 0.04         | 2.52  |
| 12    | CaCl2     | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| 13    | NH4OH     | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| 14    | (NH4)2CO3 | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| 15    | CaCO3     | 0.01         | 31.15   | 0.00         | 0.00  |
| 16    | CH4       | 0.00         | 0.00    | 0.82         | 38.09 |
| 17    | CO2       | 0.00         | 0.00    | 0.13         | 5.87  |
| 18    | H2S       | 0.00         | 0.00    | 0.00         | 0.00  |
| TOTAL |           | 0.30         | 1005.51 | 0.99         | 46.48 |

**Tabel IV.10 Neraca Massa Bubble Column Reactor (lanjutan)**

| Massa Masuk (kg) |         | Massa Keluar (kg) |         |
|------------------|---------|-------------------|---------|
| Aliran <28>      | 994.32  | Aliran <29>       | 1005.51 |
| Aliran <5>       | 57.67   | Aliran <6>        | 46.48   |
| Total            | 1051.99 | Total             | 1051.99 |

#### IV.11 Neraca Massa Thickener (H-320)



Tabel IV.11 Neraca Massa Thickener

| No    | Komponen  | MASUK       |         |             |         |
|-------|-----------|-------------|---------|-------------|---------|
|       |           | Aliran <29> |         | Aliran <27> |         |
|       |           | Fraksi      | Massa   | Fraksi      | Massa   |
| 1     | CaO       | 0.00        | 0.28    | 0.00        | 0.93    |
| 2     | Fe2O3     | 0.00        | 0.01    | 0.00        | 0.05    |
| 3     | SiO2      | 0.00        | 0.36    | 0.00        | 1.21    |
| 4     | MgO       | 0.00        | 0.01    | 0.00        | 0.03    |
| 5     | Al2O3     | 0.00        | 0.15    | 0.00        | 0.52    |
| 6     | K2O       | 0.00        | 0.00    | 0.00        | 0.01    |
| 7     | Na2O      | 0.00        | 0.00    | 0.00        | 0.01    |
| 8     | TiO2      | 0.00        | 0.01    | 0.00        | 0.02    |
| 9     | SO3       | 0.00        | 0.02    | 0.00        | 0.06    |
| 10    | NH4Cl     | 0.10        | 100.70  | 0.10        | 335.68  |
| 11    | H2O       | 0.87        | 872.81  | 0.87        | 2917.76 |
| 12    | CaCl2     | 0.00        | 0.00    | 0.00        | 0.00    |
| 13    | NH4OH     | 0.00        | 0.00    | 0.00        | 0.00    |
| 14    | (NH4)2CO3 | 0.00        | 0.00    | 0.00        | 0.00    |
| 15    | CaCO3     | 0.03        | 31.15   | 0.03        | 103.82  |
| 16    | CH4       | 0.00        | 0.00    | 0.00        | 0.00    |
| 17    | CO2       | 0.00        | 0.00    | 0.00        | 0.00    |
| 18    | H2S       | 0.00        | 0.00    | 0.00        | 0.00    |
| TOTAL |           | 1.00        | 1005.51 | 1.00        | 3360.09 |

Tabel IV.11 Neraca Massa Thickener (lanjutan)

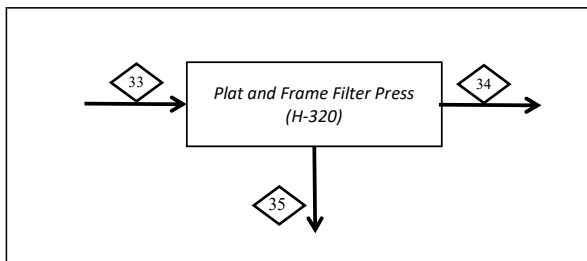
| No | Komponen | KELUAR      |       |             |       |
|----|----------|-------------|-------|-------------|-------|
|    |          | Aliran <32> |       | Aliran <30> |       |
|    |          | Fraksi      | Massa | Fraksi      | Massa |
| 1  | CaO      | 0.00        | 1.09  | 0.00        | 0.12  |
| 2  | Fe2O3    | 0.00        | 0.05  | 0.00        | 0.01  |
| 3  | SiO2     | 0.00        | 1.42  | 0.00        | 0.16  |
| 4  | MgO      | 0.00        | 0.04  | 0.00        | 0.00  |
| 5  | Al2O3    | 0.00        | 0.60  | 0.00        | 0.07  |
| 6  | K2O      | 0.00        | 0.02  | 0.00        | 0.00  |
| 7  | Na2O     | 0.00        | 0.01  | 0.00        | 0.00  |

|       |   |      |        |      |         |
|-------|---|------|--------|------|---------|
| 8     | TiO <sub>2</sub>                                | 0.00 | 0.02   | 0.00 | 0.00    |
| 9     | SO <sub>3</sub>                                 | 0.00 | 0.07   | 0.00 | 0.01    |
| 10    | NH <sub>4</sub> Cl                              | 0.06 | 19.32  | 0.10 | 417.05  |
| 11    | H <sub>2</sub> O                                | 0.54 | 167.86 | 0.89 | 3622.71 |
| 12    | CaCl <sub>2</sub>                               | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00    |
| 13    | NH <sub>4</sub> OH                              | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00    |
| 14    | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00    |
| 15    | CaCO <sub>3</sub>                               | 0.39 | 121.47 | 0.00 | 13.50   |
| 16    | CH <sub>4</sub>                                 | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00    |
| 17    | CO <sub>2</sub>                                 | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00    |
| 18    | H <sub>2</sub> S                                | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00    |
| TOTAL |   | 1.00 | 311.97 | 1.00 | 4053.63 |

**Tabel IV.11 Neraca Massa Thickener (lanjutan)**

| Massa Masuk (kg) |         | Massa Keluar (kg) |         |
|------------------|---------|-------------------|---------|
| Aliran <29>      | 1005.51 | Aliran <30>       | 4053.63 |
| Aliran <27>      | 3360.09 | Aliran <32>       | 311.97  |
| Total            | 4365.60 | Total             | 4365.60 |

**IV.12 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (H-320)**



**Tabel IV.12 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press**

| No | Komponen                       | MASUK       |        |
|----|--------------------------------|-------------|--------|
|    |                                | Aliran <33> |        |
|    |                                | Fraksi      | Massa  |
| 1  | CaO                            | 0.00        | 1.09   |
| 2  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00        | 0.05   |
| 3  | SiO <sub>2</sub>               | 0.00        | 1.42   |
| 4  | MgO                            | 0.00        | 0.04   |
| 5  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00        | 0.60   |
| 6  | K <sub>2</sub> O               | 0.00        | 0.02   |
| 7  | Na <sub>2</sub> O              | 0.00        | 0.01   |
| 8  | TiO <sub>2</sub>               | 0.00        | 0.02   |
| 9  | SO <sub>3</sub>                | 0.00        | 0.07   |
| 10 | NH <sub>4</sub> Cl             | 0.06        | 19.32  |
| 11 | H <sub>2</sub> O               | 0.54        | 167.86 |
| 12 | CaCl <sub>2</sub>              | 0.00        | 0.00   |

|       |           |      |        |
|-------|-----------|------|--------|
| 13    | NH4OH     | 0.00 | 0.00   |
| 14    | (NH4)2CO3 | 0.00 | 0.00   |
| 15    | CaCO3     | 0.39 | 121.47 |
| 16    | CH4       | 0.00 | 0.00   |
| 17    | CO2       | 0.00 | 0.00   |
| 18    | H2S       | 0.00 | 0.00   |
| TOTAL |           | 1.00 | 311.97 |

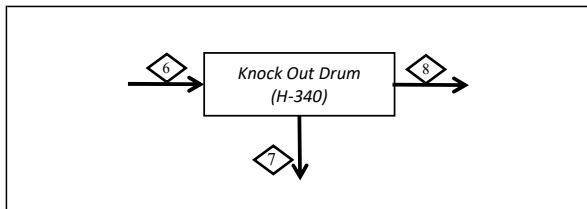
Tabel IV.12 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (lanjutan)

| No    | Komponen  | KELUAR      |        |             |        |
|-------|-----------|-------------|--------|-------------|--------|
|       |           | Aliran <35> |        | Aliran <34> |        |
|       |           | Fraksi      | Massa  | Fraksi      | Massa  |
| 1     | CaO       | 0.01        | 1.08   | 0.00        | 0.01   |
| 2     | Fe2O3     | 0.00        | 0.05   | 0.00        | 0.00   |
| 3     | SiO2      | 0.01        | 1.41   | 0.00        | 0.01   |
| 4     | MgO       | 0.00        | 0.04   | 0.00        | 0.00   |
| 5     | Al2O3     | 0.00        | 0.60   | 0.00        | 0.01   |
| 6     | K2O       | 0.00        | 0.02   | 0.00        | 0.00   |
| 7     | Na2O      | 0.00        | 0.01   | 0.00        | 0.00   |
| 8     | TiO2      | 0.00        | 0.02   | 0.00        | 0.00   |
| 9     | SO3       | 0.00        | 0.07   | 0.00        | 0.00   |
| 10    | NH4Cl     | 0.01        | 1.40   | 0.10        | 17.92  |
| 11    | H2O       | 0.09        | 12.17  | 0.89        | 155.69 |
| 12    | CaCl2     | 0.00        | 0.00   | 0.00        | 0.00   |
| 13    | NH4OH     | 0.00        | 0.00   | 0.00        | 0.00   |
| 14    | (NH4)2CO3 | 0.00        | 0.00   | 0.00        | 0.00   |
| 15    | CaCO3     | 0.88        | 120.25 | 0.01        | 1.21   |
| 16    | CH4       | 0.00        | 0.00   | 0.00        | 0.00   |
| 17    | CO2       | 0.00        | 0.00   | 0.00        | 0.00   |
| 18    | H2S       | 0.00        | 0.00   | 0.00        | 0.00   |
| TOTAL |           | 1.00        | 137.11 | 1.00        | 174.86 |

Tabel IV.12 Neraca Massa Plate and Frame Filter Press (lanjutan)

| Massa Masuk (kg) |        | Massa Keluar (kg) |        |
|------------------|--------|-------------------|--------|
| Aliran <33>      | 311.97 | Aliran <35>       | 137.11 |
|                  |        | Aliran <34>       | 174.86 |
| Total            | 311.97 | Total             | 311.97 |

IV.13 Neraca Massa Knock Out Drum (H-340)



**Tabel IV.13 Neraca Massa Knock Out Drum**

| No    | Komponen         | MASUK        |       |
|-------|------------------|--------------|-------|
|       |                  | Aliran <6>   |       |
|       |                  | Fraksi Massa | Massa |
| 1     | H <sub>2</sub> O | 0.05         | 2.52  |
| 2     | CH <sub>4</sub>  | 0.82         | 38.09 |
| 3     | CO <sub>2</sub>  | 0.13         | 5.87  |
| 4     | H <sub>2</sub> S | 0.00         | 0.00  |
| TOTAL |                  | 1.00         | 46.48 |

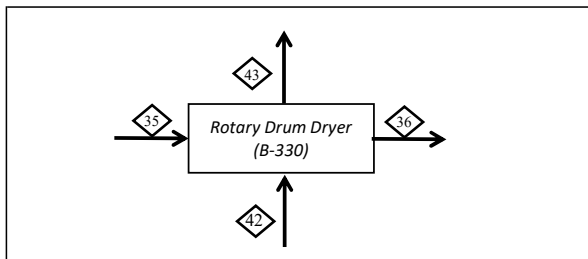
**Tabel IV.13 Neraca Massa Knock Out Drum (lanjutan)**

| No    | Komponen         | KELUAR       |       |              |       |
|-------|------------------|--------------|-------|--------------|-------|
|       |                  | Aliran <7>   |       | Aliran <8>   |       |
|       |                  | Fraksi Massa | Massa | Fraksi Massa | Massa |
| 1     | H <sub>2</sub> O | 1.00         | 2.47  | 0.00         | 0.05  |
| 2     | CH <sub>4</sub>  | 0.00         | 0.00  | 0.87         | 38.09 |
| 3     | CO <sub>2</sub>  | 0.00         | 0.00  | 0.13         | 5.87  |
| 4     | H <sub>2</sub> S | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 0.00  |
| TOTAL |                  | 1.00         | 2.47  | 1.00         | 44.02 |

**Tabel IV.13 Neraca Massa Knock Out Drum (lanjutan)**

| Massa Masuk (kg) |       | Massa Keluar (kg) |       |
|------------------|-------|-------------------|-------|
| Aliran <6>       | 46.48 | Aliran <7>        | 2.47  |
|                  |       | Aliran <8>        | 44.02 |
| Total            | 46.48 | Total             | 46.48 |

**IV.14 Neraca Massa Rotary Drum Dryer (B-330)**



**Tabel IV.14 Neraca Massa Rotary Dryer**

| No. | Komponen                       | Masuk        |       |              |       |
|-----|--------------------------------|--------------|-------|--------------|-------|
|     |                                | Aliran <35>  |       | Aliran <42>  |       |
|     |                                | Fraksi Massa | Massa | Fraksi Massa | Massa |
| 1   | CaO                            | 0.01         | 1.08  | 0.00         | 0.00  |
| 2   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00         | 0.05  | 0.00         | 0.00  |
| 3   | SiO <sub>2</sub>               | 0.01         | 1.41  | 0.00         | 0.00  |

|    |                                |      |        |      |        |
|----|--------------------------------|------|--------|------|--------|
| 4  | MgO                            | 0.00 | 0.04   | 0.00 | 0.00   |
| 5  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00 | 0.60   | 0.00 | 0.00   |
| 6  | K <sub>2</sub> O               | 0.00 | 0.02   | 0.00 | 0.00   |
| 7  | Na <sub>2</sub> O              | 0.00 | 0.01   | 0.00 | 0.00   |
| 8  | TiO <sub>2</sub>               | 0.00 | 0.02   | 0.00 | 0.00   |
| 9  | SO <sub>3</sub>                | 0.00 | 0.07   | 0.00 | 0.00   |
| 10 | NH <sub>4</sub> Cl             | 0.01 | 1.40   | 0.00 | 0.00   |
| 11 | H <sub>2</sub> O               | 0.09 | 12.17  | 0.00 | 0.31   |
| 12 | CaCO <sub>3</sub>              | 0.88 | 120.25 | 0.00 | 0.00   |
| 13 | N <sub>2</sub>                 | 0.00 | 0.00   | 0.78 | 242.41 |
| 14 | O <sub>2</sub>                 | 0.00 | 0.00   | 0.21 | 65.27  |
| 15 | CO <sub>2</sub>                | 0.00 | 0.00   | 0.01 | 3.11   |
|    |                                | 1.00 | 137.11 | 1.00 | 311.10 |

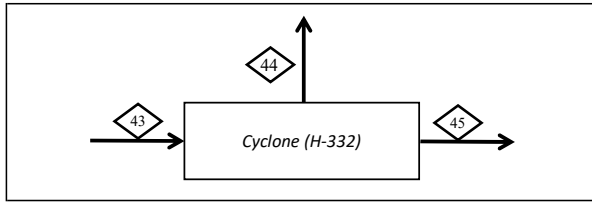
**Tabel IV.14 Neraca Massa Rotary Dryer (lanjutan)**

| No. | Komponen                       | Keluar       |        |              |        |
|-----|--------------------------------|--------------|--------|--------------|--------|
|     |                                | Aliran <36>  |        | Aliran <43>  |        |
|     |                                | Fraksi Massa | Massa  | Fraksi Massa | Massa  |
| 1   | CaO                            | 0.01         | 0.97   | 0.00         | 0.11   |
| 2   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00         | 0.05   | 0.00         | 0.01   |
| 3   | SiO <sub>2</sub>               | 0.01         | 1.26   | 0.00         | 0.14   |
| 4   | MgO                            | 0.00         | 0.04   | 0.00         | 0.00   |
| 5   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00         | 0.54   | 0.00         | 0.06   |
| 6   | K <sub>2</sub> O               | 0.00         | 0.01   | 0.00         | 0.00   |
| 7   | Na <sub>2</sub> O              | 0.00         | 0.01   | 0.00         | 0.00   |
| 8   | TiO <sub>2</sub>               | 0.00         | 0.02   | 0.00         | 0.00   |
| 9   | SO <sub>3</sub>                | 0.00         | 0.06   | 0.00         | 0.01   |
| 10  | NH <sub>4</sub> Cl             | 0.01         | 1.26   | 0.00         | 0.14   |
| 11  | H <sub>2</sub> O               | 0.00         | 0.56   | 0.04         | 11.92  |
| 12  | CaCO <sub>3</sub>              | 0.96         | 108.23 | 0.04         | 12.03  |
| 13  | N <sub>2</sub>                 | 0.00         | 0.00   | 0.72         | 242.41 |
| 14  | O <sub>2</sub>                 | 0.00         | 0.00   | 0.19         | 65.27  |
| 15  | CO <sub>2</sub>                | 0.00         | 0.00   | 0.01         | 3.11   |
|     |                                | 1.00         | 113.00 | 1.00         | 335.20 |

**Tabel IV.14 Neraca Massa Rotary Dryer (lanjutan)**

| Massa Masuk |        | Massa Keluar |        |
|-------------|--------|--------------|--------|
| Aliran <35> | 137.11 | Aliran <36>  | 113.00 |
| Aliran <42> | 311.10 | Aliran <43>  | 335.20 |
| Total       | 448.21 | Total        | 448.21 |

**IV.15 Neraca Massa Cyclone (H-332)**



**Tabel IV.15 Neraca Massa Cyclone**

| No. | Komponen | Masuk        |        |
|-----|----------|--------------|--------|
|     |          | Fraksi Massa | Massa  |
|     |          | Aliran <43>  |        |
|     |          | Fraksi Massa | Massa  |
| 1   | CaO      | 0.00         | 0.11   |
| 2   | Fe2O3    | 0.00         | 0.01   |
| 3   | SiO2     | 0.00         | 0.14   |
| 4   | MgO      | 0.00         | 0.00   |
| 5   | Al2O3    | 0.00         | 0.06   |
| 6   | K2O      | 0.00         | 0.00   |
| 7   | Na2O     | 0.00         | 0.00   |
| 8   | TiO2     | 0.00         | 0.00   |
| 9   | SO3      | 0.00         | 0.01   |
| 10  | NH4Cl    | 0.00         | 0.14   |
| 11  | H2O      | 0.00         | 1.53   |
| 12  | CaCO3    | 0.04         | 12.03  |
| 13  | N2       | 0.75         | 242.41 |
| 14  | O2       | 0.20         | 65.27  |
| 15  | CO2      | 0.01         | 3.11   |
|     |          | 1.00         | 324.81 |

**Tabel IV.15 Neraca Massa Cyclone (lanjutan)**

| No. | Komponen | Keluar       |       |              |       |
|-----|----------|--------------|-------|--------------|-------|
|     |          | Aliran <44>  |       | Aliran <45>  |       |
|     |          | Fraksi Massa | Massa | Fraksi Massa | Massa |
| 1   | CaO      | 0.00         | 0.00  | 0.01         | 0.11  |
| 2   | Fe2O3    | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 0.01  |
| 3   | SiO2     | 0.00         | 0.00  | 0.01         | 0.14  |
| 4   | MgO      | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 0.00  |
| 5   | Al2O3    | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 0.06  |
| 6   | K2O      | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 0.00  |
| 7   | Na2O     | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 0.00  |
| 8   | TiO2     | 0.00         | 0.00  | 0.00         | 0.00  |



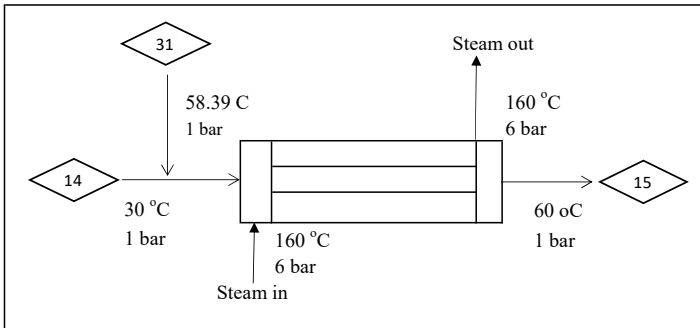
|    |       |      |        |      |       |
|----|-------|------|--------|------|-------|
| 9  | SO3   | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.01  |
| 10 | NH4Cl | 0.00 | 0.00   | 0.01 | 0.14  |
| 11 | H2O   | 0.00 | 0.31   | 0.09 | 1.22  |
| 12 | CaCO3 | 0.00 | 0.00   | 0.88 | 12.03 |
| 13 | N2    | 0.78 | 242.41 | 0.00 | 0.00  |
| 14 | O2    | 0.21 | 65.27  | 0.00 | 0.00  |
| 15 | CO2   | 0.01 | 3.11   | 0.00 | 0.00  |
|    |       | 1.00 | 311.10 | 1.00 | 13.71 |

**Tabel IV.15 Neraca Massa Cyclone (lanjutan)**

| Massa Masuk |        | Massa Keluar |        |
|-------------|--------|--------------|--------|
| Aliran <43> | 324.81 | Aliran <44>  | 311.10 |
|             |        | Aliran <45>  | 13.71  |
| Total       | 324.81 | Total        | 324.81 |

## B. Neraca Energi

### IV.16 Neraca Energi Heater (E-126)

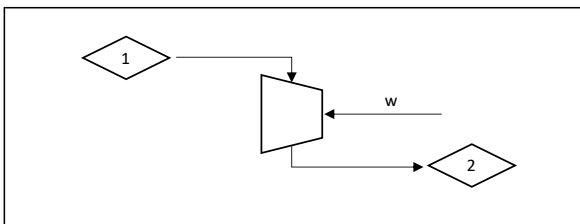


|                    |   |       |    |   |        |   |
|--------------------|---|-------|----|---|--------|---|
| suhu reference     | = | 25    | °C | = | 298.15 | K |
| suhu stream <31>   | = | 58.39 | °C | = | 331.54 | K |
| suhu stream <14>   | = | 30    | °C | = | 303    | K |
| suhu stream <15>   | = | 60    | °C | = | 333.15 | K |
| suhu steam in      | = | 160   | °C | = | 433.15 | K |
| suhu kondensat out | = | 160   | °C | = | 433.15 | K |

Tabel IV.16 Neraca Energi Heater

| Masuk             |              | Keluar |              |
|-------------------|--------------|--------|--------------|
| Stream            | Energi (J)   | Stream | Energi (J)   |
| <14> + <31>       | 558985320.54 | <15>   | 645022220.94 |
| Energi dari Steam | 86036900.40  |        |              |
| Total             | 645022220.94 | Total  | 645022220.94 |

### IV.17 Neraca Energi Compressor (G-111)



Kondisi operasi

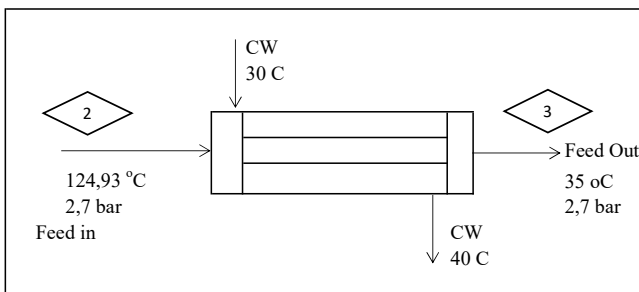
|                |   |        |  |   |       |   |              |
|----------------|---|--------|--|---|-------|---|--------------|
| Suhu aliran 1  | = | 28     | °C   | = | 301   | K | P1 = 1 atm   |
| Suhu aliran 2  | = | 124.93 | °C   | = | 397.9 | K | P2 = 2,7 atm |
| Suhu reference | = | 25     | °C   | = | 298   | K |              |
| R              | = | 8.314  | J/ mol K   |   |       |   |              |
| K              | = | 1.3    | (heat capacity ratio for poliatomic gases, van ness, 2001) |   |       |   |              |

**Tabel IV.17** Neraca Energi Compressor (G-111)

| No | Energi Aliran Masuk (j/Jam) | Energi Aliran Keluar (j/Jam) |
|----|-----------------------------|------------------------------|
| 1  | Entalpi Masuk               | 423721.5                     |
| 2  | WS                          | 14509296                     |
|    | TOTAL                       | 14933018                     |

| No | Energi Aliran Masuk (j/Jam) | Energi Aliran Keluar (j/Jam) |
|----|-----------------------------|------------------------------|
| 1  | Entalpi Masuk               | 14933018                     |
| 2  | WS                          | 14509296                     |
|    | TOTAL                       | 14933018                     |

**IV.18** Neraca Energi Cooler (E-113)

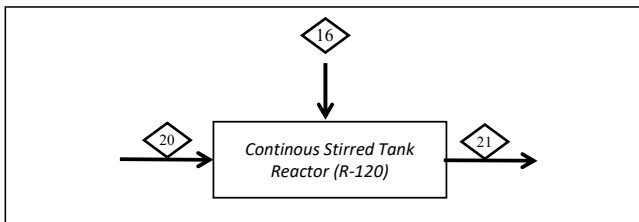


|             |   |           |   |       |
|-------------|---|-----------|---|-------|
| $T_0$       | = | 25 °C     | = | 298 K |
| Feed Masuk  | = | 124.93 °C | = | 398 K |
| Feed Keluar | = | 35 °C     | = | 308 K |
| T CW in     | = | 30 °C     | = | 303 K |
| T CW out    | = | 40 °C     | = | 313 K |

**Tabel IV.18** Neraca Energi Compressor (E-113)

| Tabel Neraca Energi Compressor |                          |             |                           |             |
|--------------------------------|--------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| No                             | Energi Aliran Masuk (Kj) |             | Energi Aliran Keluar (Kj) |             |
| 1                              | Entalpi Masuk            | 14933017.98 | Entalpi Keluar            | 1417782.522 |
| 2                              |                          |             | Cooling Water             | 13515235.46 |
|                                | TOTAL                    | 14933017.98 | TOTAL                     | 14933017.98 |

**IV.19** Neraca Energi Continous Stirred Tank Reactor (R-120)



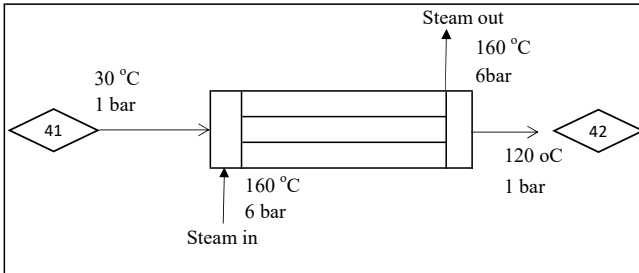
|                  |   |          |   |       |
|------------------|---|----------|---|-------|
| Suhu Reference   | = | 298.15 K | = | 25 °C |
| Suhu Aliran <20> | = | 303.15 K | = | 30 °C |
| Suhu Aliran <16> | = | 333.15 K | = | 60 °C |
| Suhu Aliran <21> | = | 333.15 K | = | 60 °C |

Suhu Cooling Water in = 303.15 K = 30 °C  
 Suhu Cooling Water Out = 313.15 K = 40 °C

**Tabel IV.19** Neraca Energi Continous Stirred Tank Reactor (R-120)

| No | Energi Aliran Masuk (J) |             | Energi Aliran Keluar (J) |             |
|----|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| 1  | Entalpi Masuk           | 646745001.2 | Entalpi Keluar           | 651381750.7 |
| 2  | Entalpi Reaksi          | 1315860245  | Cooling Water            | 1967354524  |
| 3  | Cooling Water           | 656131028.4 |                          |             |
|    | TOTAL                   | 2618736275  |                          | 2618736275  |

**IV. 20 Neraca Energi Heater (E-337)**

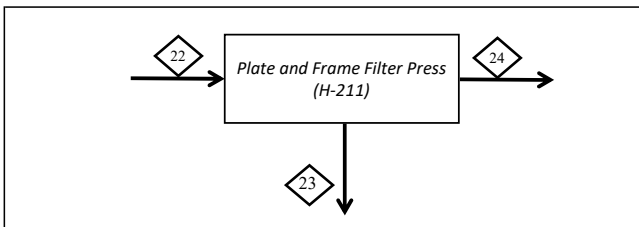


Suhu stream <41> = 30 °C = 303 K  
 Suhu stream <42> = 120 °C = 393 K  
 Suhu Steam in = 160 °C = 433 K  
 Suhu Steam out = 160 °C = 433 K  
 Suhu reference = 25 °C = 298 K

**Tabel IV.20** Neraca Energi Heater (E-338)

| Masuk       |             | Keluar |             |
|-------------|-------------|--------|-------------|
| Stream      | Energi (J)  | Stream | Energi (J)  |
| <21>        | 1488406.27  | <22>   | 28366112.21 |
| Panas laten | 26877705.94 |        |             |
| Total       | 28366112.21 | Total  | 28366112.21 |

**IV.21 Neraca Energi Plate and Frame Filter Press (H-211)**

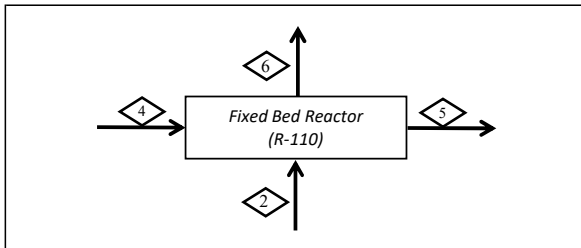


Suhu stream <22> = 60 C = 333 K  
 Suhu stream <23> = 60 C = 333 K  
 Suhu stream <24> = 60 C = 333 K  
 Suhu reference = 25 C = 298 K

**Tabel IV.21** Neraca Energi Plate and Frame Filter Press

| No | Masuk  |             | Keluar |              |
|----|--------|-------------|--------|--------------|
|    | Stream | Energi      | Stream | Energi       |
| 1  | <17>   | 651381750.7 | <18>   | 74145629.77  |
|    |        |             | <47>   | 577240835.23 |
|    | TOTAL  | 651381750.7 | TOTAL  | 651386465.00 |

**IV.22** Neraca Energi Fixed Bed Reactor (R-110)

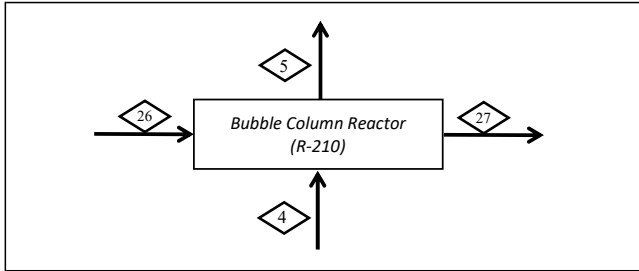


Suhu reference = 25.00 C = 298.15 K  
 Suhu Aliran <4> = 35.00 C = 308.15 K  
 Suhu Aliran <2> = 30.00 C = 303.15 K  
 Suhu Aliran <6> = 64.68 C = 337.83 K  
 Suhu Aliran <5> = 64.68 C = 337.83 K

**Tabel IV.22** Neraca Energi Fixed Bed Reactor

| Masuk           |            | Keluar |            |
|-----------------|------------|--------|------------|
| Stream          | Energi (J) | Stream | Energi (J) |
| <4>             | 1418013.79 | <6>    | 5668348.63 |
| <2>             | 559549.47  | <5>    | 4547.02    |
| entalphi reaksi | 3695332.40 |        |            |
| Total           | 5672895.65 | Total  | 5672895.65 |

**IV.23 Neraca Energi Bubble Column Reactor (E-210)**

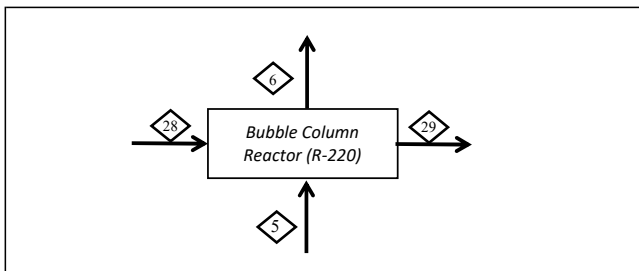


|                  |   |       |   |   |        |   |
|------------------|---|-------|---|---|--------|---|
| Suhu reference   | = | 25.00 | C | = | 298.15 | K |
| Suhu Aliran <26> | = | 60.00 | C | = | 333.15 | K |
| Suhu Aliran <4>  | = | 64.68 | C | = | 337.83 | K |
| Suhu Aliran <27> | = | 60.00 | C | = | 333.15 | K |
| Suhu Aliran <5>  | = | 60.00 | C | = | 333.15 | K |

**Tabel IV.23** Neraca Energi Bubble Column Reactor (E-210)

| Masuk           |   |               | Keluar          |   |               |
|-----------------|---|---------------|-----------------|---|---------------|
| Stream          | = | Energi (J)    | Stream          | = | Energi (J)    |
| Entalphi masuk  | = | 895100305.06  | Entalphi keluar | = | 450999479.77  |
| Entalphi reaksi | = | 1187876068.41 | cooling water   | = | 2448611648.41 |
| cooling water   | = | 816634754.7   |                 |   |               |
| total           | = | 2899611128.18 | total           | = | 2899611128.18 |

**IV.24 Neraca Energi Bubble Column Reactor (E-220)**

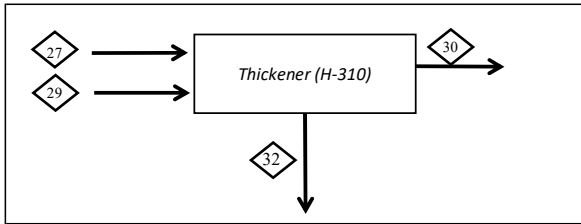


|                  |   |    |   |   |        |   |
|------------------|---|----|---|---|--------|---|
| Suhu Reference   | = | 25 | C | = | 298.15 | K |
| Suhu Aliran <28> | = | 60 | C | = | 333.15 | K |
| Suhu Aliran <5>  | = | 60 | C | = | 333.15 | K |
| Suhu Aliran <29> | = | 60 | C | = | 333.15 | K |
| Suhu Aliran <6>  | = | 60 | C | = | 333.15 | K |

**Tabel IV.24** Neraca Energi Bubble Column Reactor (E-220)

| Masuk           |                | Keluar          |                |
|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Stream          | Energi (J)     | Stream          | Energi (J)     |
| Entalphi masuk  | = 216303833.62 | Entalphi keluar | = 137412273.33 |
| Entalphi reaksi | = 284064048.21 | cooling water   | = 544577153.19 |
| cooling water   | = 181621544.7  |                 |                |
| total           | = 681989426.52 | total           | = 681989426.52 |

**IV.25 Neraca Energi Thickener (H-310)**

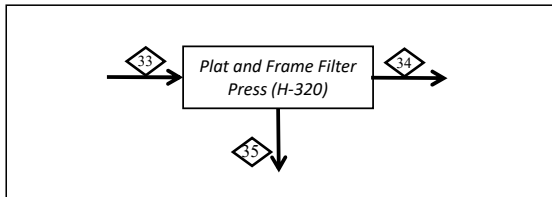


|                  |   |    |   |   |          |   |
|------------------|---|----|---|---|----------|---|
| T0               | = | 25 | C | = | 298.15   | K |
| Suhu Aliran <27> | = | 60 | C | = | 333.15   | K |
| Suhu Aliran <29> | = | 60 | C | = | 333.8425 | K |
| Suhu Aliran <30> | = | 30 | C | = | 326.7691 | K |
| Suhu Aliran <32> | = | 30 | C | = | 326.7691 | K |

**Tabel IV.25** Neraca Energi Thickener (H-310)

| Masuk  |               | Keluar    |                |
|--------|---------------|-----------|----------------|
| Stream | Energi (J)    | Stream    | Energi (J)     |
| <27>   | = 447390933.9 | <32>      | = 3758971.84   |
| <29>   | = 133848869.4 | <30>      | = 79218012.29  |
|        |               | Heat Loss | = 498262819.14 |
| total  | = 581239803.3 | total     | = 581239803.28 |

**IV.26 Neraca Energi Plate and Frame Filter Press H-320**

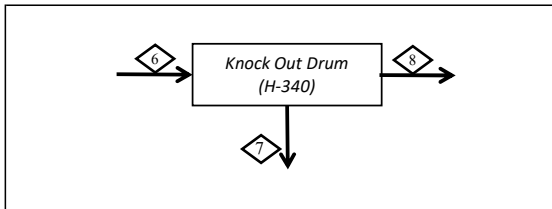


|                  |   |    |   |   |     |   |
|------------------|---|----|---|---|-----|---|
| T0               | = | 25 | C | = | 298 | K |
| Suhu Aliran <33> | = | 30 | C | = | 303 | K |
| Suhu Aliran <34> | = | 30 | C | = | 303 | K |
| Suhu Aliran <35> | = | 30 | C | = | 303 | K |

**Tabel IV.26** Neraca Energi Plate and Frame Filter Press H-320

| Masuk |   | Keluar      |        |             |
|-------|---|-------------|--------|-------------|
| <33>  | = | 3758971.84  | <34> = | 354025.88   |
|       |   |             | <35> = | 3404966.11  |
| total | = | 3758971.843 | total  | 3758991.985 |

**IV.27** Neraca Energi Knock Out Drum (H-340)

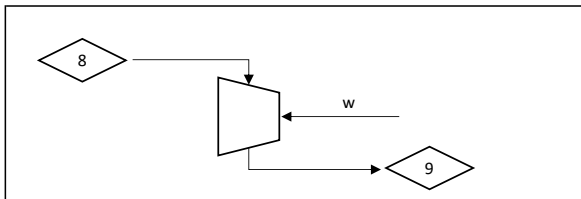


|                 |   |      |   |       |
|-----------------|---|------|---|-------|
| Suhu Reference  | = | 25 C | = | 298 K |
| Suhu Stream <6> | = | 60 C | = | 333 K |
| Suhu Stream <7> | = | 60 C | = | 333 K |
| Suhu Stream <8> | = | 60 C | = | 333 K |

**Tabel IV.27** Neraca Energi Knock Out Drum (H-340)

| Masuk  |            | Keluar |            |         |
|--------|------------|--------|------------|---------|
| Stream | Energi (J) | Stream | Energi (J) |         |
| <6>    | =          | <8>    | =          | 3202.31 |
|        |            | <7>    | =          | 360.74  |
| total  | =          | total  | =          | 3563.06 |

**IV.28** Neraca Energi Compressor (G-341)



Kondisi operasi

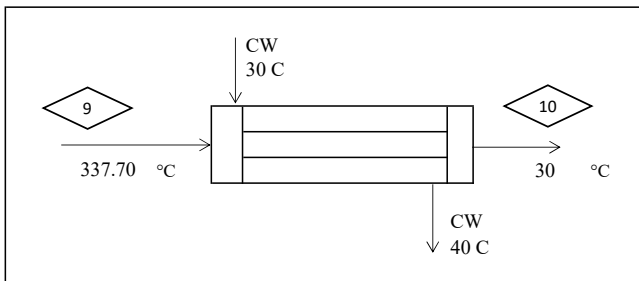
|                |   |          |  |          |                  |
|----------------|---|----------|--|----------|------------------|
| Suhu aliran 1  | = | 0 °C     | =  | 273 K    | P1 = 1 bar       |
| Suhu aliran 2  | = | 337.7 °C | =  | 610.85 K | P2 = 13.7895 bar |
| Suhu reference | = | 25 °C    | =  | 298 K    |                  |
| R              | = | 8.314    | J/ mol K   |          |                  |
| K              | = | 1.3      | (heat capacity ratio for poliatomic gases, van ness, 2001) |          |                  |



**Tabel IV.28** Neraca Energi Compressor

| No | Energi Aliran Masuk (j/Jam) |             | Energi Aliran Keluar (j/Jam) |             |
|----|-----------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| 1  | Entalpi Masuk               | 3201785.05  | Entalpi Keluar               | 34408804.92 |
| 2  | WS                          | 31207019.87 |                              |             |
|    | TOTAL                       | 34408804.92 | TOTAL                        | 34408804.92 |

**IV.29** Neraca Energi Cooler (E-341)



|             |   |        |    |   |     |   |
|-------------|---|--------|----|---|-----|---|
| $T_0$       | = | 25     | °C | = | 298 | K |
| Feed Masuk  | = | 337.70 | °C | = | 611 | K |
| Feed Keluar | = | 30     | °C | = | 303 | K |
| T CW in     | = | 30     | °C | = | 303 | K |
| T CW out    | = | 40     | °C | = | 313 | K |

**Tabel IV.29** Neraca Energi Cooler

| No | Energi Aliran Masuk (j/Jam) |          | Energi Aliran Keluar (j/Jam) |          |
|----|-----------------------------|----------|------------------------------|----------|
| 1  | Entalpi Masuk               | 34408805 | Entalpi Keluar               | 450066.6 |
| 3  | Cooling Water               | 16992818 | Cooling Water                | 50951556 |
|    | TOTAL                       | 51401623 |                              | 51401623 |

## BAB V DAFTAR DAN HARGA ALAT

### V.1 DAFTAR ALAT

#### 1. Fixed Bad Reaktor (R-110)

**Tabel V.1** Spesifikasi Alat Fixed Bad Reaktor (R-110)

|                      |   |   |
|----------------------|---|---|
| Kode Alat            | : | (R-110)   |
| Material             | : | SA 167 type 304 grade 3   |
| Jumlah               | : | 2 unit  |
| Fungsi               | : | Menghilangkan kandungan H <sub>2</sub> S yang terkandung dalam biogas |
| Tipe                 | : | Silinder packing dengan tutup atas dan bawah berbentuk dish head.     |
| Jenis Sambungan      | : | Double welded butt  |
| OD                   | : | 240 in = 6 m  |
| ID                   | : | 231 in = 6 m  |
| H bed                | : | 369 in = 9 m  |
| Tinggi shell         | : | 462 in = 12 m   |
| Tebal Shell          | : | 0.6 in = 0 m  |
| Tebal tutup atas     | : | 0.5 in = 0 m  |
| Straight flange (sf) | : | 3 in = 0 m  |
| Tinggi tutup atas    | : | 56 in = 1 m   |
| Tebal tutup bawah    | : | 0.5 in = 0 m  |
| Tinggi tutup bawah   | : | 56 in = 1 m   |
| Tinggi tangki total  | : | 573 in = 15 m   |

Harga : USD 297400

#### 2. Centrifugal Compressor (G-111)

**Tabel V.2** Spesifikasi Alat Centrifugal Compressor G-111

|                            |   |   |                       |
|----------------------------|---|---|-----------------------|
| Kode                       | : | G-111   |                       |
| Type                       | : | Centrifugal Compressor  |                       |
| Fungsi                     | : | Menaikkan tekanan gas alam agar sesuai dengan kondisi operasi reaktor fix bed |                       |
| Jumlah stage               | : | 2   |                       |
| Bahan                      | : | Carbon Steel  |                       |
| Kondisi operasi : Psuction | : | 100 kPa   | Tsuction = 53.6 °C    |
| Pdischarge                 | : | 270 kPa   | Tdischarge = 124.9 °C |
| Kapasitas (Kg/jam)         | : | 104.68  |                       |
| r                          | : | 1.6   |                       |
| Efisiensi                  | : | 0.8   |                       |
| Power (Standard HP)        | : | 125   |                       |

Harga : USD 77300

### 3. Cooler (E-113)

**Tabel V.3** Spesifikasi Alat Cooler (E-113)

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| Kode               | : | E-113   |
| Fungsi             | : | Menurunkan suhu udara biogas setelah dari compressor  |
| Tipe               | : | 1-2 Shell and Tube Heat Exchanger   |
| Bahan              | : | Carbon Steel SA-129 A   |
| Suhu Masuk         | : | Sales Gas = 30 °C<br>MCR = 0 °C   |
| Suhu Keluar        | : | Sales Gas = 40 °C<br>MCR = 0 °C   |
| Shell Side (Sales) | : | Diameter Dalam = 8 in<br>Baffle Space = 4 in<br>Passes = 2<br>ΔP = 0 psi  |
| Tube Side (MCR)    | : | Diameter Luar = 0.8 in<br>Jumlah Tube = 38<br>BWG = 13<br>Pitch = 1 in<br>a" = 0.2 ft2/ft<br>a' = 0.2 in2<br>Passes = 1<br>ΔP = 1.8 psi |
| Rd                 | : | 0.193941176 hr.ft2.°F/Btu   |
| Luas Area          | : | 119.35 ft2  |
| Jumlah Alat        | : | 1 Unit  |

Harga : USD 5200

### 4. Continus Stired Tank Reactor (R-120)

**Tabel V.4** Spesifikasi Alat Cooler (R-120)

|                           |   |   |
|---------------------------|---|---|
| Kode Alat                 | : | R-120   |
| Fungsi Alat               | : | Ekstraksi CaO dalam Steel Slag  |
| Tipe                      | : | Silinder tegak dengan tutup atas dan tutup bawah berbentuk conical  |
| Kapasitas                 | : | 110.16 ft3 = 3 m3   |
| Bahan Konstruksi          | : | Carbon steel SA-283 grade C   |
| Jumlah tangki             | : | 1 unit = 10 ft = 3.04804 m  |
| Spek. Tangki              | : | - Diameter (OD) = 10 ft = 3.03534 m<br>- Diameter (ID) = 15 ft = 4.55301 m<br>- Tinggi : shell = 1 ft = 0.40666 m<br>tutup atas = 1 ft = 0.40666 m<br>tutup bawah = 0.25 in = 0.0063 m<br>- Tebal : shell = 0.625 in = 0.0156 m<br>tutup atas = 0.625 in = 0.0156 m<br>tutup bawah = 5.563 in |
| Spek. Nozzle Aliran Utama | : | - Diameter (OD) = Pipa 5 in sch 40<br>- Jenis pipa = 6 in   |
| Spek. Nozzle Aliran NH4Cl | : | - Diameter (OD) = Pipa 5 in sch 40<br>- Jenis pipa = Three blade propeller  |
| Spek. Pengaduk            | : | - Jenis = Axial Impeller  |

|                     |   |                      |
|---------------------|---|----------------------|
| - Jumlah            | = | 2 unit               |
| - Diameter          | = | 2.4896 ft = 0.7588 m |
| - Lebar blade (W)   | = | 0.4979 ft = 0.1518 m |
| - Panjang blade (L) | = | 0.6224 ft = 0.1897 m |
| - Lebar Baffle (J)  | = | 0.8299 ft = 0.2529 m |
| - Power             | = | 149.51 hp            |

Harga : USD 33900

## 5. Gudang Blast Furnace Steel Slag (F-121)

**Tabel V.5** Spesifikasi Alat Blast Furnace Steel Slag (F-121)

|                 |   |   |
|-----------------|---|---|
| Kode            | : | F-121   |
| Tipe            | : | Bangunan balok                                |
| Jumlah gudang   | : | 1 buah  |
| Kapasitas       | : | 326.26 m <sup>3</sup>                         |
| Ukuran          | : | Panjang = 10 m<br>Lebar = 5 m<br>Tinggi = 7 m |
| Bahan Kontruksi | : | Batu bata dan semen                           |

Harga : USD 2185

## 6. Belt Conveyor (J-122)

**Tabel V.6** Spesifikasi Alat Belt Conveyor (J-122)

|                                |   |                       |
|--------------------------------|---|-----------------------|
| Kode                           | : | J-122                 |
| Lebar belt                     | : | 14 in = 36 cm         |
| Tinggi skirt plate             | : | 7 in = 18 cm          |
| Kecepatan normal conveying (u) | : | 200 ft/menit = 3 ft/s |
| Kemiringan                     | : | 15°                   |
| Best plies minimum             | : | 3 buah                |
| Power                          | : | 0.2271 Hp             |
| Ukuran lump maksimum           | : | 3 in                  |

Harga : USD 28200

## 7. Ball Mill (C-123)

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

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
| Kode Alat             | : | C-123   |
| Fungsi                | : | Memperkecil ukuran blast furnace steel slag                               |
| Type                  | : | Tube Ball Mill  |
| Bahan Konstruksi      | : | Cast Iron   |
| Diameter Bahan Masuk  | : | Kompartemen 1 = 0.099 ft = 0.03 m<br>Kompartemen 2 = 0.0003 ft = 0.0001 m |
| Diameter Bahan Keluar | : | Kompartemen 1 = 0.0033 ft = 0.001 m<br>Kompartemen 2 = 7E-07 ft = 2E-07 m |
| Diameter Tube         | : | 0.9 m   |
| Panjang Tube          | : | 1.8 m   |
| Power Maksimal        | : | 18.5 kW   |
| Kapasitas             | : | 453.19 kg/jam   |
| Kondisi Operasi       | : | P = 1 atm      T = 57 °C  |
| Pengelasan            | : | Double Welded Butt Joint  |
| Jumlah Alat           | : | 1 Alat  |

Harga : USD 92100

## 8. Screw Conveyor (J-124)

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

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| Kode Alat               | : | J-124  |
| Fungsi Alat             | : | Memindahkan Blast furnace steel slag dari ball mill menuju continous stirred tank reactor. |
| Material Classification | : | III E  |
| Tipe Bearing Digunakan  | : | Sealmaster Bearing   |
| Rotasi Screw            | : | 0.2203 rpm   |
| Power Dibutuhkan        | : | 0.0089 hp  |
| Jumlah                  | : | 1  |

Harga : USD 7600

## 9. Centrifugal Pump (L-125)

**Tabel V.9** Spesifikasi Alat Sentrifugal Pump (L-125)

|             |   |                                     |
|-------------|---|-------------------------------------|
| Kode Alat   | : | L-125                               |
| Fungsi Alat | : | Memompa Make-up NH4Cl ke akumulator |
| Tipe        | : | Centrifugal pump                    |
| Bahan       | : | Cast iron                           |
| Kapasitas   | : | 657.12 kg/jam                       |
| Pipa        | : | Pipa 3/4 in sch 40                  |
| Power       | : | 0.0104 hp                           |
| Head        | : | 0.9343 m                            |
| Jumlah      | : | 1 unit                              |

Harga : USD 3200

## 10. Heater (E-126)

**Tabel V.10** Spesifikasi Alat Heater (E-126)

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| Kode Alat        | : | E-126   |
| Fungsi Alat      | : | Menaikkan suhu feed masuk reaktor NH4Cl                               |
| Tipe             | : | Double Pipe Heat Exchanger  |
| Bahan Konstruksi | : | Carbon Steel SA 302   |
| Tube             |   | - ID : 3 in<br>- OD : 4 in<br>- Panjang : 48<br>- $\Delta$ PT : 0 psi |
| Shell            |   | - de : 1 in<br>- Hairpin : 2 buah<br>- $\Delta$ Ps : 0 psi            |
| Rd               | : | 0.001   |
| Luas Area        | : | 44 ft <sup>2</sup>  |
| Jumlah           | : | 1   |

Harga : USD 1500

## 11. Centrifugal Pump (L-127)

**Tabel V.11** Spesifikasi Alat Centrifugal Pump (L-127)

|             |   |                       |
|-------------|---|-----------------------|
| Kode Alat   | : | L-127                 |
| Fungsi Alat | : | Memompa NH4Cl ke CSTR |
| Tipe        | : | Centrifugal pump      |
| Bahan       | : | Cast iron             |

|           |                    |
|-----------|--------------------|
| Kapasitas | : 4714.5 kg/jam    |
| Pipa      | : Pipa 2 in sch 40 |
| Power     | : 0.1351 hp        |
| Head      | : 1.2551 m         |
| Jumlah    | : 1 unit           |

Harga : USD 4900

## 12. Bubble Column Reactor (R-210)

**Tabel V.12** Spesifikasi Alat Bubble Column Reactor (R-210)

|                  |   |
|------------------|---|
| Kode             | : R-210   |
| Fungsi           | : Sebagai tempat mereaksikan CaCl <sub>2</sub> dengan gas CO <sub>2</sub> untuk menghasilkan precipitated calcium carbonate (PCC) |
| Tipe             | : Bubble Column   |
| Dimensi          | : Diameter shell (D) = 8,4 ft<br>Tinggi shell (H) = 25,3 ft<br>Tebal shell (ts) = 5/16 in<br>Tebal head (th) = 3/8 in             |
| Tekanan Desain   | : 48,435 psi  |
| Bahan Konstruksi | : High Alloy Steel SA-240 grade M Type 316  |
| Jumlah           | : 1 buah  |

Harga : USD 45600

## 13. Centrifugal Pump (L-213)

**Tabel V.12** Spesifikasi Alat Pompa Masuk Plate and Frame Filter Press (L-213)

|             |   |
|-------------|---|
| Kode Alat   | : L-213   |
| Fungsi Alat | : Memompa hasil ekstraksi CaO ke Plate and Frame Filter Press |
| Tipe        | : <i>Centrifugal pump</i>                                     |
| Bahan       | : <i>Cast iron</i>  |
| Kapasitas   | : 5167.3 kg/jam   |
| Pipa        | : Pipa 2 in sch 40  |
| Power       | : 2.0905 hp   |
| Head        | : 17.7198 m   |
| Jumlah      | : 1 unit  |

Harga : USD 4900

## 14. Plate and Frame Filter Press (H-211)

**Tabel V.14** Spesifikasi Alat Plate and Frame Filter Press (R-211)

|                      |   |
|----------------------|---|
| Kode Alat            | : R-211   |
| Fungsi               | : Memisahkan cake dengan filtrat  |
| Tipe                 | : Horizontal plate & frame  |
| Bahan Plate          | : Cast iron   |
| Dimensi              | : Luas filter : 17.5 m <sup>2</sup><br>Jumlah frame : 7 buah<br>Jumlah plate : 8 buah |
| Jumlah cake / siklus | : 858.43 kg   |
| Waktu tinggal        | : 0.0071 jam  |
| Jumlah               | : 2 buah  |

Harga : USD 84000

### 15. Pompa BCR (L-212)

**Tabel V.15** Spesifikasi Alat Pompa BCR (L-212)

|             |   |   |
|-------------|---|---|
| Kode Alat   | : | L-212   |
| Fungsi Alat | : | Memompa filtrat Plate and Frame Filter Press ke BCR |
| Tipe        | : | <i>Centrifugal pump</i>                             |
| Bahan       | : | <i>Cast iron</i>                                    |
| Kapasitas   | : | 4308.9 kg/jam                                       |
| Pipa        | : | Pipa 2 in sch 40                                    |
| Power       | : | 0.1027 hp   |
| Head        | : | 1.0439 m  |
| Jumlah      | : | 1 unit  |

Harga : USD 4900

### 16. Bubble Column Reactor (H-220)

**Tabel V.16** Spesifikasi Alat Bubble Colum Reactor (R-220)

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| Kode             | : | R-220   |
| Fungsi           | : | Sebagai tempat mereaksikan CaCl <sub>2</sub> dengan gas CO <sub>2</sub> untuk menghasilkan precipitated calcium carbonate (PCC) |
| Tipe             | : | Bubble Column   |
| Dimensi          | : | Diameter shell (D) = 7,4 ft<br>Tinggi shell (H) = 22,3 ft<br>Tebal shell (ts) = 5/16 in<br>Tebal head (th) = 3/8 in             |
| Tekanan Desain   | : | 46,603 psi  |
| Bahan Konstruksi | : | High Alloy Steel SA-240 grade M Type 316  |
| Jumlah           | : | 1 buah  |

Harga : USD 33800

### 17. Thickener (H-310)

**Tabel V.17** Spesifikasi Alat Clarifier (H-310)

|               |   |   |
|---------------|---|---|
| Kode Alat     | : | H-310   |
| Fungsi Alat   | : | Mengendapkan PCC dan memisahkannya dengan air |
| Tipe          | : | <i>Sludge Recirculation</i>                   |
| Bahan         | : | <i>Carbon Steel</i>                           |
| Kapasitas     | : | 4356 kg/jam                                   |
| Tinggi        | : | 2.75 m  |
| Diameter      | : | 2.75 m  |
| Daya          | : | 0.09 hp                                       |
| Waktu Tinggal | : | 2.000 jam                                     |

Harga : USD 9700

### 18. Storage NH<sub>4</sub>Cl Recycle (F-311)

**Tabel V.18** Spesifikasi Alat Storage NH<sub>4</sub>Cl Recycle (F-311)

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| Kode      | = | F-311   |
| Fungsi    | = | Menyimpan NH <sub>4</sub> Cl stream recycle sebelum masuk ke CSTR (R-120) |
| Jumlah    | = | 1 buah  |
| Kapasitas | = | 4228.49 kg/jam  |
| Material  | = | SA 283 Grade C (Brownell and Young, 251)                                  |
| Ukuran    | = | ID = 239 in   |

|                 |   |                      |    |
|-----------------|---|----------------------|----|
| OD              | = | 240                  | in |
| Tinggi Silinder | = | 21.004               | m  |
| Tebal Silinder  | = | 1/2                  | in |
| Tebal Tutup     | = | 5/8                  | in |
| Tipe Tutup      | = | Standard Dished Head |    |

Harga : USD 57600

### 19. Plate and Frame Filter Press (H-320)

**Tabel V.19** Spesifikasi Alat Plate and Frame Filter Press (H-320)

|                             |   |                                       |      |                      |
|-----------------------------|---|---------------------------------------|------|----------------------|
| Kode Alat                   | : | H-320                                 |      |                      |
| Fungsi                      | : | Memisahkan <i>cake</i> dengan filtrat |      |                      |
| Tipe                        | : | <i>Horizontal plate &amp; frame</i>   |      |                      |
| Bahan Plate                 | : | <i>Cast iron</i>                      |      |                      |
| Dimensi                     | : | Luas filter                           | :    | 9.684 m <sup>2</sup> |
|                             |   | Jumlah frame                          | :    | 4 buah               |
|                             |   | Jumlah plate                          | :    | 5 buah               |
| Jumlah <i>cake</i> / siklus | : | 137.1                                 | kg   |                      |
| Waktu tinggal               | : | 0.0003263                             | jam  |                      |
| Jumlah                      | : | 2                                     | buah |                      |

Harga : USD 61700

### 20. Centrifugal Pump (L-321)

**Tabel V.20** Spesifikasi Alat Pompa Filter Press (L-321)

|             |   |   |        |  |
|-------------|---|---|--------|--|
| Kode Alat   | : | L-321   |        |  |
| Fungsi Alat | : | Memompa material underflow dari thickener menuju plate and fram filter pr |        |  |
| Tipe        | : | <i>Centrifugal pump</i>   |        |  |
| Bahan       | : | <i>Cast iron</i>  |        |  |
| Kapasitas   | : | 311.97  | kg/jam |  |
| Pipa        | : | Pipa 2 in sch 40  |        |  |
| Power       | : | 0.094   | hp     |  |
| Head        | : | 13.24   | m      |  |
| Jumlah      | : | 1   | unit   |  |

Harga : USD 8600

### 21. Rotary Dryer (B-330)

**Tabel V.21** Spesifikasi Alat Rotary Dryer (B-330)

|               |   |  |         |  |
|---------------|---|--|---------|--|
| Kode Alat     | : | B-330  |         |  |
| Fungsi Alat   | : | Meringinkan PCC yang berasal dari Plate and Frame Filter Press |         |  |
| Tipe          | : | <i>Direct Continuous Rotary Dryer</i>                          |         |  |
| Bahan         | : | <i>Carbon Steel</i>  |         |  |
| Kapasitas     | : | 302.3  | lb/jam  |  |
| Panjang       | : | 3.18   | m       |  |
| Diameter      | : | 0.47   | m       |  |
| Putaran       | : | 13   | rpm     |  |
| Kemiringan    | : | 2.29   | derajat |  |
| Waktu Tinggal | : | 0.594  | jam     |  |

Harga : USD 96100



## 22. Screw Conveyor (J-331)

**Tabel V.22** Spesifikasi Alat Screw Conveyor (B-350)

|                         |   |   |
|-------------------------|---|---|
| Kode Alat               | : | J-331   |
| Fungsi Alat             | : | Memindahkan cake dari plate and frame filter press menuju rotary drum dryer |
| Material Classification | : | <i>III E</i>  |
| Tipe Bearing Digunakan  | : | <i>Sealmaster Bearing</i>   |
| Rotasi Screw            | : | 0.083 rpm   |
| Power Dibutuhkan        | : | 0.003 hp  |
| Jumlah                  | : | 1   |

Harga : USD 7600

## 23. Cyclone (H-332)

**Tabel V.23** Spesifikasi Alat Cyclone (H-332)

|                  |     |   |
|------------------|-----|---|
| Kode Alat        | :   | H-332   |
| Fungsi           | :   | Memisahkan padatan PCC yang terbawa aliran udara kering untuk dikembalikan kembali ke aliran PCC keluar rotary drum dryer |
| Jumlah Alat      | :   | 1   |
| Kondisi Operasi: | P = | 1 atm   |
|                  | T = | 40 oC   |
| Bc               | :   | 0.068 m   |
| Dc               | :   | 0.274 m   |
| De               | :   | 0.137 m   |
| Hc               | :   | 0.137 m   |
| Lc               | :   | 0.548 m   |
| Zc               | :   | 0.548 m   |
| Jc               | :   | 0.068 m   |
| Sc               | :   | 0.034 m   |

Harga : USD 11900

## 24. Screw Conveyor (J-333)

**Tabel V.24** Spesifikasi Alat Screw Conveyor (J-333)

|                         |   |   |
|-------------------------|---|---|
| Kode Alat               | : | J-333   |
| Fungsi Alat             | : | Memindahkan PCC dari rotary drum dryer menuju Ball mill |
| Material Classification | : | <i>III E</i>  |
| Tipe Bearing Digunakan  | : | <i>Sealmaster Bearing</i>                               |
| Rotasi Screw            | : | 0.065 rpm   |
| Power Dibutuhkan        | : | 0.003 hp  |
| Jumlah                  | : | 1   |

Harga : USD 7600

## 25. Ball Mill (C-334)

**Tabel V.25** Spesifikasi Alat Ball Mill (C-334)

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
| Kode Alat        | : | C-334  |
| Fungsi           | : | Memperkecil ukuran <i>blast furnace steel slag</i> |
| Type             | : | <i>Tube Ball Mill</i>                              |
| Bahan Konstruksi | : | <i>Cast Iron</i>                                   |

|                         |                                 |                |            |               |
|-------------------------|---------------------------------|----------------|------------|---------------|
| Diameter Bahan Masuk :  | Kompartemen 1=                  | 0.099 ft       | =          | 0.03 m        |
|                         | :                               | Kompartemen 2= | 3E-04 ft   | = 0.0001 m    |
| Diameter Bahan Keluar : | Kompartemen 1=                  | 0.0033 ft      | =          | 0.001 m       |
|                         | :                               | Kompartemen 2= | 6.6E-07 ft | = 0.0000002 m |
| Diameter Tube :         | 0.9 m                           |                |            |               |
| Panjang Tube :          | 1.8 m                           |                |            |               |
| Power Maksimal :        | 18.5 kW                         |                |            |               |
| Kapasitas :             | 113.00 kg/jam                   |                |            |               |
| Kondisi Operasi :       | P =                             | 1 atm          | T =        | 57 oC         |
| Pengelasan :            | <i>Double Welded Butt Joint</i> |                |            |               |
| Jumlah Alat :           | 1 Alat                          |                |            |               |

Harga : USD 92100

## 26. Screw Conveyor (J-336)

**Tabel V.26** Spesifikasi Alat Screw Conveyor (J-336)

|                           |   |     |  |
|---------------------------|---|-----|--|
| Kode Alat :               | J-336   |     |  |
| Fungsi Alat :             | Memindahkan PCC dari ball mill menuju continous storage PCC |     |  |
| Material Classification : | <i>III E</i>  |     |  |
| Tipe Bearing Digunakan :  | <i>Sealmaster Bearing</i>                                   |     |  |
| Rotasi Screw :            | 0.065   | rpm |  |
| Power Dibutuhkan :        | 0.003   | hp  |  |
| Jumlah :                  | 1   |     |  |

Harga : USD 7600

## 27. Gudang PCC (F-336)

**Tabel V.27** Spesifikasi Alat Gudang PCC (F-336)

|                   |                     |     |  |
|-------------------|---------------------|-----|--|
| Kode Alat =       | F-336               |     |  |
| Tipe =            | Bangunan balok      |     |  |
| Jumlah gudang =   | 1 buah              |     |  |
| Kapasitas =       | 0.00                | m3  |  |
| Ukuran =          | Panjang =           | 0 m |  |
|                   | Lebar =             | 0 m |  |
|                   | Tinggi =            | 0 m |  |
| Bahan Kontruksi = | Batu bata dan semen |     |  |

Harga : USD 2185

## 28. Air Heater (E-337)

**Tabel V.28** Spesifikasi Alat Air Heater (E-337)

|                    |   |   |             |
|--------------------|---|---|-------------|
| Kode Alat :        | E-337                                       |   |             |
| Fungsi Alat :      | Menaikkan suhu udara pengering rotary dryer |   |             |
| Tipe :             | <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>           |   |             |
| Bahan Konstruksi : | <i>Carbon Steel SA 302</i>                  |   |             |
| Tube :             | ID  | : | 3.07 in     |
|                    | OD  | : | 3.50 in     |
|                    | Panjang                                     | : | 30.00       |
|                    | $\Delta PT$                                 | : | 9.1E-08 psi |
| Shell :            | de  | : | 1.14 in     |

|           |   |              |   |         |                 |
|-----------|---|--------------|---|---------|-----------------|
|           | : | Hairpin      | : | 1.00    | buah            |
|           | : | $\Delta P_s$ | : | 0.00002 | psi             |
| Rd        | : |              | : | 0.0010  |                 |
| Luas Area | : |              | : | 27.51   | ft <sup>2</sup> |
| Jumlah    | : |              | : | 1       |                 |

Harga : USD 1300

### 29. Knock Out Drum (H-340)

**Tabel V.29** Spesifikasi Alat Knock Out Drum (H-340)

|                        |   |  |
|------------------------|---|--|
| Kode Alat              | : | H-340  |
| Fungsi                 | : | Memisahkan liquid H <sub>2</sub> O yang terbawa dalam aliran gas |
| Tekanan desain         | : | 20.389 psig  |
| Outside Diameter       | : | 0.6096 m   |
| Tebal Silinder         | : | 0.0048 m   |
| Tebal tutup atas/bawah | : | 0.0048 m   |
| Tinggi bejana          | : | 1.9202 m   |
| Tinggi Tutup Atas      | : | 0.1524 m   |
| Tinggi Tutup Bawah     | : | 0.1524 m   |
| Bahan Konstruksi       | : | ASTM A 516   |
| Jumlah                 | : | 1  |
| Kapasitas              | : | 46.48 kg/jam   |

Harga : USD 8200

### 30. Natural Gas Compressor (G-341)

**Tabel V.30** Spesifikasi Alat Natural Gas Compressor (G-341)

|                     |   |                     |
|---------------------|---|---------------------|
| Kode Alat           | G-341   |                     |
| Type                | Centrifugal Compressor  |                     |
| Fungsi              | Menaikkan tekanan gas alam agar sesuai dengan kondisi operasi reaktor metanol |                     |
| Jumlah stage        | 4   |                     |
| Bahan               | Carbon Steel  |                     |
| Kondisi op          | Psuction : 100 kPa  | Tsuction = 54 °C    |
|                     | Pdischarge : 1379.0 kPa   | Tdischarge = 338 °C |
| Kapasitas (Kg/jam)  | 44.02   |                     |
| r                   | 1.927   |                     |
| Efisiensi           | 0.787   |                     |
| Power (Standard HP) | 125   |                     |

Harga : USD 94300

### 31. Cooler (E-342)

**Tabel V.31** Spesifikasi Alat Cooler (E-342)

|           |  |
|-----------|--|
| Kode Alat | E-342  |
| Fungsi    | Menurunkan suhu biogas setelah dari compressor |
| Type      | 1-2 Shell and Tube Heat Exchanger              |
| Bahan     | Carbon Steel SA-129 A                          |

|                       |                |        |        |                     |
|-----------------------|----------------|--------|--------|---------------------|
| Suhu Masuk            | Sales Gas      | =      | 30     | °C                  |
|                       | MCR            | =      | 0      | °C                  |
| Suhu Keluar           | Sales Gas      | =      | 40     | °C                  |
|                       | MCR            | =      | 0      | °C                  |
| Shell Side<br>(Sales) | Diameter Dalam | =      | 8      | in                  |
|                       | Baffle Space   | =      | 4      | in                  |
|                       | Passes         | =      | 2      |                     |
|                       | $\Delta P$     | =      | 0.0176 | psi                 |
| Tube Side<br>(MCR)    | Diameter Luar  | =      | 0.75   | in                  |
|                       | Jumlah Tube    | =      | 38     |                     |
|                       | BWG            | =      | 13     |                     |
|                       | Pitch          | =      | 1      | in                  |
|                       | a"             | =      | 0.1963 | ft <sup>2</sup> /ft |
|                       | a'             | =      | 0.247  | in <sup>2</sup>     |
|                       | Passes         | =      | 1      |                     |
| $\Delta P$            | =              | 1.7544 | psi    |                     |
| Rd                    | 0.2423085      |        |        | 0                   |
| Luas Area             | 119.3504       |        |        | ft <sup>2</sup>     |
| Jumlah Alat           | 1              |        |        | Unit                |

Harga : USD 5200

### 32. Compressed Biomethane Storage (F-343)

**Tabel V.32** Spesifikasi Alat Biogas Storage Tank (F-343)

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
| Kode Alat        | : | F-343                                  |
| Fungsi Alat      | : | Menyimpan biogas yang telah dimurnikan |
| Tipe             | : | <i>Spherical Storage</i>               |
| Kapasitas        | : | 18989.128 ft <sup>3</sup>              |
| Bahan Konstruksi | : | <i>PVC bag pondasi beton</i>           |
| Jumlah Tangki    | : | 1 unit                                 |
| Spek Tangki      | : | Diameter Tangki (OD) = 15.917336 m     |
|                  |   | Tebal = 2,25 in                        |

Harga : USD 45100

### 33. NH<sub>4</sub>Cl Storage Tank (F-128)

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| Kode      | = | F-128  |
| Fungsi    | = | Menyimpan NH <sub>4</sub> Cl sebelum masuk ke CSTR (R-120) |
| Jumlah    | = | 1 buah   |
| Kapasitas | = | 657.10 kg/jam  |
| Material  | = | SA 283 Grade C (Brownell and Young, 251)                   |
| Ukuran    | = | ID = 167.6 in  |
|           |   | OD = 168 in  |
|           |   | Tinggi Silinder = 3.9537 m                                 |
|           |   | Tebal Silinder = 1/2 in                                    |
|           |   | Tebal Tutup = 1/2 in                                       |
|           |   | Tipe Tutup = Standard Dished Head                          |

Harga : USD 35800

|                       |                |           |                 |                     |
|-----------------------|----------------|-----------|-----------------|---------------------|
| Shell Side<br>(Sales) | Diameter Dalam | =         | 8               | in                  |
|                       | Baffle Space   | =         | 4               | in                  |
|                       | Passes         | =         | 2               |                     |
|                       | $\Delta P$     | =         | 0.0176          | psi                 |
| Tube Side<br>(MCR)    | Diameter Luar  | =         | 0.75            | in                  |
|                       | Jumlah Tube    | =         | 38              |                     |
|                       | BWG            | =         | 13              |                     |
|                       | Pitch          | =         | 1               | in                  |
|                       | a"             | =         | 0.1963          | ft <sup>2</sup> /ft |
|                       | a'             | =         | 0.247           | in <sup>2</sup>     |
|                       | Passes         | =         | 1               |                     |
| $\Delta P$            | =              | 1.7544    | psi             |                     |
| Rd                    |                | 0.2423085 |                 | 0                   |
| Luas Area             |                | 119.3504  | ft <sup>2</sup> |                     |
| Jumlah Alat           |                | 1         | Unit            |                     |

Harga : USD 5200

### 32. Compressed Biomethane Storage (F-343)

**Tabel V.32** Spesifikasi Alat Biogas Storage Tank (F-343)

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
| Kode Alat        | : | F-343                                  |
| Fungsi Alat      | : | Menyimpan biogas yang telah dimurnikan |
| Tipe             | : | <i>Spherical Storage</i>               |
| Kapasitas        | : | 18989.128 ft <sup>3</sup>              |
| Bahan Konstruksi | : | <i>PVC bag pondasi beton</i>           |
| Jumlah Tangki    | : | 1 unit                                 |
| Spek Tangki      | : | Diameter Tangki (OD) = 15.917336 m     |
|                  |   | Tebal = 2,25 in                        |

Harga : USD 45100

### 33. NH4Cl Storage Tank (F-128)

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| Kode      | = | F-128   |
| Fungsi    | = | Menyimpan NH4Cl sebelum masuk ke CSTR (R-120) |
| Jumlah    | = | 1 buah  |
| Kapasitas | = | 657.10 kg/jam                                 |
| Material  | = | SA 283 Grade C (Brownell and Young, 251)      |
| Ukuran    | = | ID = 167.6 in                                 |
|           |   | OD = 168 in                                   |
|           |   | Tinggi Silinder = 3.9537 m                    |
|           |   | Tebal Silinder = 1/2 in                       |
|           |   | Tebal Tutup = 1/2 in                          |
|           |   | Tipe Tutup = Standard Dished Head             |

Harga : USD 35800

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan uraian pada bab-bab terdahulu maka dapat diambil kesimpulan dari analisa studi kelayakan pada Pra Desain Pabrik Purifikasi Biogas dengan Karbonasi Mineral  $\text{Ca(OH)}_2$  dari Blast Furnace Steel Slag (Bubble Column Reactor) dengan skala Pilot Plant ini. Studi kelayakan yang dimaksud meliputi studi kelayakan secara teknis. Secara singkat, evaluasi tersebut dapat disajikan sebagai berikut.

Secara teknis Pabrik Purifikasi Biogas dengan Karbonasi Mineral  $\text{Ca(OH)}_2$  dari Blast Furnace Steel Slag (Bubble Column Reactor) dengan skala Pilot Plant dapat didirikan di Kabupaten Mojokerto, Provinsi Jawa Timur, dengan Kapasitas biogas terolah 792.000  $\text{m}^3$ /tahun, yang akan memproduksi 348,60 ton *compressed biomethane gas* per tahun dan 857,15 ton PCC per tahun, dan pabrik beroperasi secara kontinyu 24 jam/hari, selama 330 hari dalam setahun.

Ditinjau dari aspek teknis yang telah dijabarkan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa Pabrik Purifikasi Biogas dengan Karbonasi Mineral  $\text{Ca(OH)}_2$  dari Blast Furnace Steel Slag (Bubble Column Reactor) dengan skala Pilot ini layak untuk didirikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Apriliani, Nurul Fitria. 2016. *Studi Literatur Pcc (Precipitated Calcium Carbonate) Untuk Aplikasi Bidang Teknik*. Jurnal Teknik A Vol 8 No 1 Maret 2016. ISSN No. 2085 – 0859
- Balat, M., And H. Balat. 2009. *Biogas As A Renewable Energy Source - A Review. Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects. 31:14*, 1280-1293. Beil, Michael, And Wiebke Beyrich. 2013. "Biogas Upgrading To Bimethane." *In The Biogas Handbook*, By Arthur Wellinger, Jerry Murphy And David Baxter. 342-377. Woodhead Publishing Limited.
- Brownell, L.e. and Young, E.H., 1959. "Process Equipment Design". New Delhi : Wiley Eastern Limited.
- Budzianowski, Wojciech M., And Marlena Brodacka. 2016. "Biomethane Storage: Evaluation Of Technologies, End Uses, Business Models And Sustainability." *Energy Conversion Management*. Doi:10.1016/J.Enconman.2016.08.071.
- Dankckwerts, P.V. 1970 "Gas-Liquid Reaction". Mc Graw-Hill book Company : New York. *Engineering Data Book, Gpsa Engineering Data Book, 12<sup>th</sup> Edition.*, Gas Processors Suppliers, Association Tulsa, Ok, 2004a.
- Eloneva, Sanni. 2009. *Reduction of CO<sub>2</sub> emissions from Steel Plants by Using Steelmaking Slags for Production of Marketable Calcium Carbonate*. Finlandia
- Geankoplis, Christie John. 2003. *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operation), 4th Edition*. USA : Pearson Education Inc
- Himmelblau, David. M. *Basic Principles And Calculations In Chemical Engineering 8<sup>th</sup> Edition*. United States: Pearson Education, Inc
- Kajian Supply Demand Energy 2012*. Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kern, Donald. 1950. "Process Heat Transfer". New York : McGraw-Hill Book Company.
- Kusnarjo. 2010. "Desain Alat Industri Kimia". Surabaya : ITS Press.
- Ludwig, Ernest. 2011. "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants". San Fransisco : Elsevier.
- Mc Cabe, W.L., Julian Smith, Peter Hariot. 1993. "Unit Operation of Chemical Engineering 6<sup>th</sup> edition". Singapore: Mc Graw Hill, Inc.