

Pra Desain Pabrik Pembuatan Biometan dan PCC dari Vinasse Limbah Pabrik Bioetanol

Dinda Bazliah¹, Safitri Wulansari¹, Hikmatun Ni'mah^{1*} dan Firman Kurniawansyah¹

Abstrak— Berdasarkan *Indonesia Energy Outlook 2018*, data cadangan energi fosil pada tahun 2016 yaitu 338 juta barel minyak bumi, 144,06 TCF gas dan 14,3 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 (EBT). Salah satu energi baru terbarukan adalah *biomethane* atau biogas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik (vinasse) mengalami proses fermentasi dalam reaktor (*biodigester*) dalam kondisi anaerob yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan, menghasilkan listrik, dan bahan bakar *gas engine* untuk industri. Dengan mendirikan pabrik *biomethane* (biogas) bisa menjawab dua permasalahan negara ini yaitu menyediakan energi baru terbarukan yang didukung oleh Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 21 Tahun 2016 tentang Pembelian Tenaga Listrik Dari Pembangkit Listrik Tenaga Biogas oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2016 Nomor 1129). CO₂ 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 (99,38%). Proses pembuatan *Biomethane* dari limbah vinasse ada lima tahap, yaitu tahap *pre-treatment*, tahap *digester*, tahap pemurnian dari H₂S, pengeringan PCC dan penyimpanan. Kemurnian *biomethane* yang dihasilkan yaitu 82,47%. Lokasi pabrik direncanakan di Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur. Untuk dapat mendirikan pabrik Pembuatan *Biomethane* dan PCC dari Vinasse Bioetanol diperlukan total modal investasi sebesar Rp 16.564.532.211.167. Dari perhitungan analisa ekonomi didapat *internal rate of return* (IRR) sebesar 23,45%, *pay out time* (POT) 4 tahun 4 bulan dan *break even point* (BEP) sebesar 33,65%.

Kata kunci— *Biomethane*, PCC, EBT, Vinasse

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki berbagai macam potensi sumber daya energi fosil, diantaranya yaitu minyak bumi, gas bumi dan batubara. Berdasarkan *Indonesia Energy Outlook 2018*, data cadangan energi fosil pada tahun 2016 yaitu 338 juta barel minyak bumi, 144,06 TCF gas dan 14,3 miliar ton batubara. Namun di sisi lain, energi fosil tersebut merupakan energi yang tidak terbarukan. Berdasarkan rasio R/P (*Reserve/Production*) tahun 2016, diperkirakan minyak bumi akan habis dalam 9 tahun, gas bumi 42 tahun, dan batubara 68 tahun. Dengan laju pertumbuhan PDB (Produk Domestik Bruto) rata-rata 6,04% per tahun, kebutuhan energi pada tahun 2050 dapat naik menjadi 7,6 kali lipat terhadap kebutuhan energi tahun 2016. (*Indonesia Energy Outlook, 2018*).

Biomethane adalah gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor (*biodigester*) dalam kondisi anaerob (*Smith, 2006*). Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan, menghasilkan listrik, dan bahan bakar *gas engine* untuk industri. Dengan mendirikan pabrik *biomethane* (biogas) bisa menjawab dua permasalahan negara ini yaitu menyediakan energi baru terbarukan yang didukung oleh Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 21 Tahun 2016 tentang Pembelian Tenaga Listrik Dari Pembangkit Listrik Tenaga Biogas oleh PT Perusahaan

Listrik Negara (Persero) (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2016 Nomor 1129) dan mengurangi limbah hasil samping pabrik bioethanol.

Limbah vinasse perlu dikurangi karena memiliki keasaman yang tinggi dengan pH 3-4, memiliki COD dan BOD yang tinggi, bersifat korosif, serta memiliki daya pencemaran yang tinggi apabila dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu, limbah vinasse ini tidak

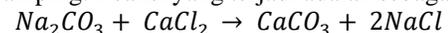
dapat langsung dibuang ke lingkungan karena akan mengeliminasi oksigen terlarut di dalamnya yang pada akhirnya merusak sistem kehidupan biota di sana (Hartanto, 2015).

II. SELEKSI DAN URAIAN PROSES

Untuk dapat menghasilkan *biomethane* digunakan proses *anaerobic digestion* dan bahan baku yang digunakan yaitu vinasse. Terdapat beberapa macam proses pembuatan PCC yaitu proses *double decomposition*, proses *lime soda* dan proses karbonasi.

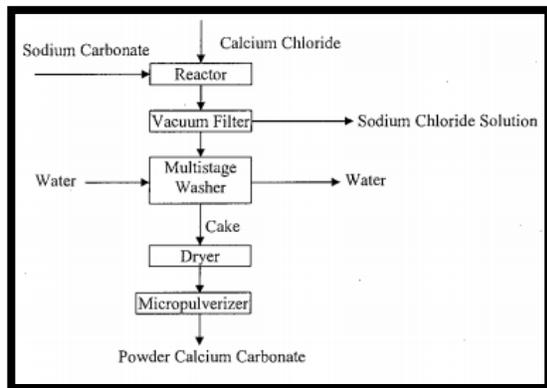
1. Proses Double Decomposition

Pada tahun 1977, produksi PCC secara signifikan meningkat dengan manufaktur *synthetic soda ash*. Laurantan soda ash bereaksi dengan larutan kalsium klorida murni menghasilkan kalsium karbonat dan sodium klorida sebagai produk samping. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



¹ Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia.
*Email: hikmatun_n@chem-eng.its.ac.id.

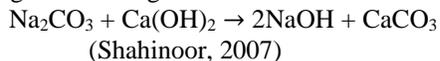
1987). Proses ini adalah yang paling sederhana dibanding tiga proses lainnya. Namun membutuhkan kalsium klorida dengan biaya rendah agar menarik secara ekonomi. Plant komersil berada di Solvay dengan fasilitas proses *synthetic ash*. Sodium chloride sulit untuk dicuci dari filter cake karbonat dan dihilangkan pada fasilitas waste treatment. Variabel dalam operasi prosesnya antara lain waktu, laju dan metode agitasi, konsentrasi, pH, dan temperatur reaksi **Gambar 1** merupakan blok diagram proses *double decomposition*.



Gambar 1. Blok Diagram Proses *Double Decomposition* (Shahinoor, 2007)

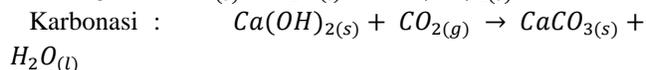
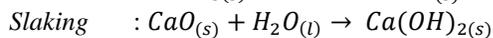
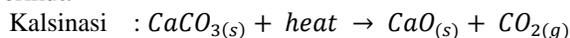
2. Proses Lime Soda

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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang berlebih. Selain itu, pembuatan kaustik soda dengan metode ini mulai digantikan dengan metode elektrolisis.



3. Proses Karbonasi

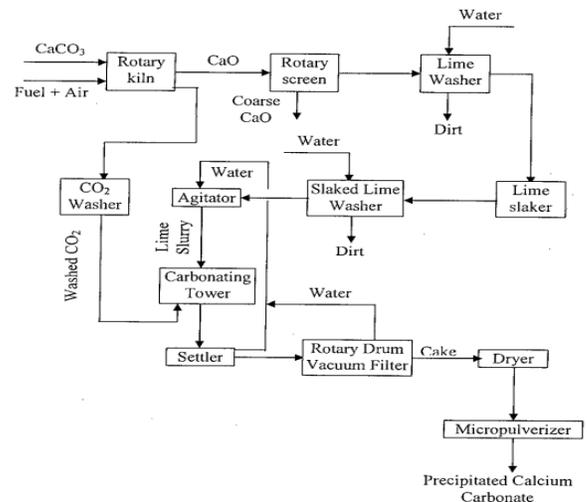
imestone dikalsinasi di dalam kiln untuk membentuk karbon dioksida dan *quicklime*. dan dipurifikasi akan dilewatkan dalam bentuk gelembung melewati *milk of lime* pada reaktor yang disebut karbonator. Di akhir proses ini akan ada pengukur pH. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Produk karbonasi selanjutnya dapat lebih jauh dipurifikasi dengan menghilangkan zat pengotor yang tersisa pada *milk of lime* sebagai partikel kasar sebagai perbandingan untuk

ukuran mikrometer. Penyaringan ini juga digunakan untuk mengontrol ukuran maksimum dari produk. Pencucian *filter cake* tidak diperlukan dikarenakan air adalah satu-satunya produk samping dari karbonasi. Padatan *filter cake* secara umum mengandung CaCO_3 sebanyak 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 bins* yang besar untuk *bulk loading* atau *packing* dalam karung.

Beberapa kelas pelapisan dapat digunakan untuk aplikasi yang spesial. PCC harus dilapisi untuk meningkatkan *flow properties*, *processing*, dan *physical properties* dari produk akhir. Asam lemak, resins, dan agen basah digunakan sebagai material pelapisan sebelum atau sesudah pengeringan. **Gambar 2** merupakan blok diagram proses karbonasi.



Gambar 2. Blok Diagram Proses Karbonasi (Shahinoor, 2007)

4. Pemilihan Proses

Proses karbonasi lebih menguntungkan dibandingkan dengan proses *double decomposition* dan proses *lime soda*. Keuntungan dari proses karbonasi sebagai berikut :

1. Konversi paling tinggi diantara kedua proses lainnya
2. Bahan baku murah dan banyak terdapat di Indonesia
3. Diantara ketiga proses, memiliki profit yang besar

Namun, pada desain proses, kalsinasi tidak digunakan, sehingga proses dilangsungkan ke tahap *slaking* dan karbonasi.

Perbandingan proses pembuatan PCC dari proses karbonasi, *lime soda* dan *double decomposition* dapat dilihat dari **Tabel 1**.

Tabel 1. Perbandingan Proses Pembuatan PCC

Parameter	Proses Double Decomposition	Proses Lime Soda	Proses Karbonasi
Temperature Reaksi	65°C	55°C	30-60°C
Tekanan Operasi	Atmosferis	Atmosferis atau bertekanan	Atmosferis atau 2-10 atm
Konversi	80%	<90%	95%

Profit	$2,94 \times 10^{-5}$ US\$	$1,675 \times 10^{-5}$ US\$	$5,326 \times 10^{-5}$ US\$
Bahan Baku	CaCl ₂	Na ₂ CO ₃	CaCO ₃

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas, maka proses karbonasi yang dipilih.

5. Uraian Proses

Tahap proses pembuatan *biomethane* dan PCC dari vinasse dengan proses *anaerobic digestion* dan karbonasi adalah sebagai berikut:

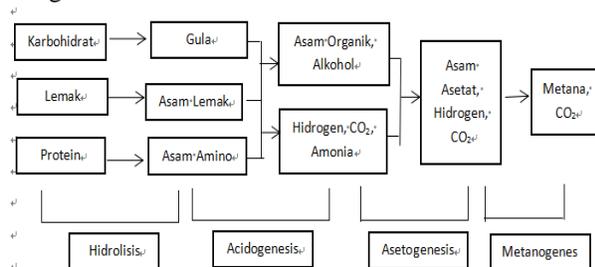
1. *Pre-treatment*
2. Fermentasi
3. Pemurnian
4. Pengeringan PCC
5. Penyimpanan

a. *Pre-treatment*

Tahap ini bertujuan untuk menyiapkan vinasse sebelum direaksikan ke dalam reaktor *batch* (*digester*). Tahap ini bertujuan untuk menetralkan vinasse dan mengembangbiakkan bakteri yang akan digunakan untuk proses fermentasi. Vinasse dinetralkan pH-nya dari pH 4.18 menjadi 7 dengan menambahkan Ca(OH)₂. Vinasse yang sudah dinetralkan sebagian dicampur dengan mikroorganisme sebelum masuk ke *digester*. Substrat yang masuk dalam tangki *starter* dicampur dengan rumen. Waktu tinggal di tangki *starter* adalah 3 hari, sehingga mikroorganisme berada pada fase log saat dimasukkan ke dalam *digester*.

b. *Fermentasi*

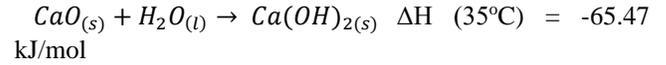
Vinasse dari tangki *pre-treatment* dan substrat dari tangki *starter* dialirkan menuju *digester* dengan perbandingan substrat yang dimasukkan reaktor sesuai jumlah bakteri yang dibutuhkan. Untuk mencegah terbentuknya buih yang dapat mengganggu proses fermentasi di dalam tangki *digester*, mengeluarkan gas metana yang terproduksi, dan mencegah terbentuknya endapan, maka dilakukan pengadukan. Jenis pengadukan yang dilakukan adalah *side entering mixer*. Proses di dalam tangki ini terjadi selama 18 hari dengan suhu operasi mesofilik 36°C dengan tekanan 1 atm dalam kondisi anaerobik. Kemudian gas yang terbentuk dari proses fermentasi 18 hari di *digester* dialirkan menuju pemurnian. Aliran efluen dari *digester* menuju *Waste Treatment*. Reaksi yang terjadi pada proses fermentasi sebagai berikut:



Gambar 3. Blok Diagram Pembuatan Biogas Secara Umum (Peiris, 2016)

c. *Slaking*

Untuk menurunkan kadar CO₂ diperlukan Ca(OH)₂ yang didapat dengan proses *slaking* yaitu mereaksikan CaO kering dengan air. Reaksi pada proses *slaking* merupakan reaksi eksotermis dan Ca(OH)₂ untuk menghasilkan *slurry* Ca(OH)₂ diawali dengan mengangkut lime CaO menuju ebuah *slaker* tank yang dilengkapi dengan *mixing agitator* setelah ditambahkan air pada temperatur yang diinginkan sehingga diperoleh kandungan Ca(OH)₂ dengan suhu 91.2°C. Reaksi yang terjadi:

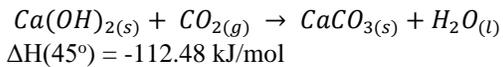


d. *Pemurnian Biomethane*

Untuk tahap pemurnian digunakan *Adsorber* Fe₂O₃ untuk menurunkan kadar H₂S, menggunakan *Bubble column* untuk menurunkan kadar CO₂, dan *Adsorber Silica gel* untuk menurunkan kadar H₂O yang ada di biogas sehingga memenuhi spesifikasi gas. Pada *Adsorber* terjadi reaksi sehingga H₂S dapat terikat dengan Fe₂O₃, reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Kemudian biogas masuk ke *bubble column* untuk diturunkan kadar CO₂ dengan cara karbonasi, yaitu direaksikan dengan Ca(OH)₂ yang menghasilkan produk samping PCC. Gas CO₂ harus dihilangkan karena bersifat korosif terhadap logam. *Bubble column* digunakan untuk mengontakkan gas CO₂ dengan Ca(OH)₂. Biogas yang terbentuk di *digester* kemudian masuk ke *bubble column* melalui bawah kolom.

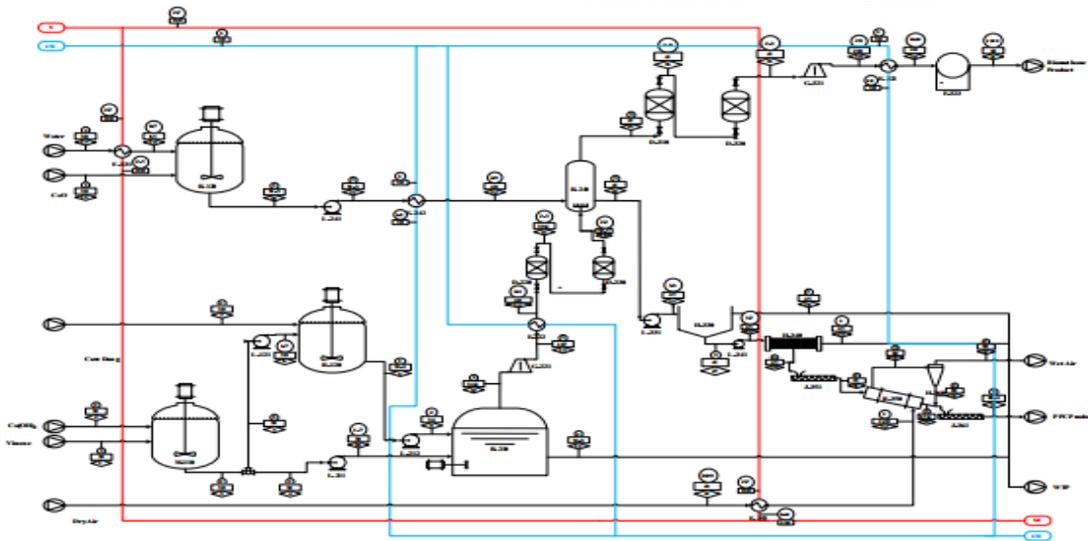


Gas yang keluar dari *bubble column* dialirkan ke *adsorber* berisi *silica gel* untuk dihilangkan kadar airnya. Untuk memenuhi spesifikasi gas yang diinginkan, digunakan dua *adsorber silica gel*.

e. *Pengeringan*

PCC dari *plate and frame filter press* yang sudah padat dipindahkan ke *rotary dryer* untuk dikeringkan sehingga kadar air pada PCC yang akan dijual sebesar 0.5% sesuai spesifikasi PCC dipasaran. Kadar air yang terdapat di PCC maksimal 13.5%. *Rotary dryer* menggunakan *dry air* untuk mengeringkan PCC hingga kadar air yang tersisa 0.5%. *Dry air* yang digunakan pada *rotary dryer* pada suhu 120°C. Kemudian PCC yang sudah sesuai spesifikasi, dipindahkan ke tempat penyimpanan.

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1. Vinasse | : 382.824 ton/tahun |
| 2. CaO | : 16.701 ton/tahun |
| Umur pabrik | : 10 tahun |
| Masa konstruksi | : 2 tahun |



Gambar 4. Process Flow Diagram Pra Desain Pabrik Pembuatan Biomethane dan PCC dari Vinasse Limbah Bioethanol

III. NERACA MASSA

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa pada pabrik Biomethane dan PCC ini, maka dibutuhkan bahan baku vinasse sebesar 382.824 ton/tahun dan CaO sebesar 16.701 ton/tahun, dengan kapasitas produksi Biomethane sebesar 6.289 ton/tahun dan PCC sebesar 28.509 ton/tahun.

IV. ANALISIS EKONOMI

Dari perhitungan analisis ekonomi, dengan harga jual Biomethane sebesar \$147 dan PCC \$0,083 per kg diperoleh Internal Rate Return (IRR) sebesar 23,45%. Dengan IRR tersebut mengindikasikan bahwa pabrik layak untuk didirikan dengan suku bunga 5% dan waktu pengembalian modal (*pay out time*) selama 4,33 tahun. Perhitungan analisis ekonomi didasarkan pada *discounted cash flow*. Modal untuk pendirian pabrik menggunakan rasio 60% modal sendiri dan 40% modal pinjaman. Modal total yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik adalah sebesar Rp. 17.249.522.149.104 sedangkan *Break Event Point* (BEP) yang diperoleh adalah sebesar 33,65%.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa pabrik gas dan PCC industri ini didesain akan beroperasi secara semi kontinyu selama 24 jam, 330 hari/tahun operasi dengan perencanaan sebagai berikut:

Kapasitas produksi

- | | |
|---------------|--------------------|
| 1. Biomethane | : 6.298 ton/tahun |
| 2. PCC | : 28.509 ton/tahun |

Kebutuhan bahan baku

Secara singkat evaluasi perencanaan pendirian pabrik tersebut dapat disajikan sebagai berikut:

1. Pra Desain Pabrik : Pembuatan Biomethane dan PCC dari Vinasse Limbah Bioethanol
2. Proses : Anaerob Digestion dan Karbonasi
3. Operasi : Kontinyu, 330 hari/tahun, 24 jam/hari
4. Lokasi pabrik : Gedek, Mojokerto, Jawa Timur
5. Analisis Ekonomi :
 - a. Internal Rate of Return (IRR) : 23,45%
 - b. Pay Out Time (P OT) : 4 tahun 4 bulan
 - c. Break Even Point (BEP) : 33,65%

Berdasarkan hasil uraian diatas, ditinjau dari segi ekonomis maupun teknis, pabrik biomethane dan PCC dari vinasse limbah pabrik bioethanol ini layak didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM, "Handbook of Energy & Economy Statistics of Indonesia," Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018.
- [2] D. Hartono, "Pembuatan Pupuk Organik Cair (POC) dari Limbah Industri," Association Tulsa, Ok, 2004a, 2015.
- [3] A. P. T. S. Peiris, "Feasibility Study of Production of Bio Methane from Bio Wastes In Sri Lanka And Develop Cost Model For The Production Process," Thesis, Oct. 07, 2016.
- [4] I. Shahinoor, "A Study for Enhancing Yield of Caustic Soda In Causticization Reaction For Industrial Application," Thesis, Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka, October 07, 2007.