

Studi Awal Desain Pabrik Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit

Durrotun Nasikhah Fahmy, Stephen Julianto Wonokusumo, Sugeng Winardi dan Tantular Nurtono
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: swinardi@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Dalam 10 tahun terakhir ini pabrik kelapa sawit (PKS) di Indonesia berkembang dengan sangat pesat. Pada periode tahun 1980-an hingga pertengahan tahun 1990-an luas areal kebun meningkat dengan laju 11% per tahun. Sejalan dengan luas area produksi CPO juga meningkat dengan laju 9.4% per tahun. Limbah cair kelapa sawit merupakan sumber pencemar potensial yang dapat memberikan dampak serius bagi lingkungan, sehingga pabrik dituntut untuk menangani limbah ini melalui peningkatan teknologi pengolahan (*end of pipe*) dikarenakan nilai COD (Chemical Oxygen Demand) dan BOD (Biological Oxygen Demand) dari POME yang sangat tinggi yakni 40.000-70.000 mg/L dan 20.000-40.000 mg/L. Oleh karena itu harus dilakukan *treatment* terlebih dahulu pada limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Limbah cair kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan baku pabrik biogas. Pengolahan limbah cair kelapa sawit menjadi biogas memiliki beberapa tahap, yakni tahap persiapan, tahap fermentasi, tahap purifikasi gas dan tahap pengolahan aliran *effluent* dari reaktor. Pada tahap persiapan bahan baku limbah cair kelapa sawit (POME) disimpan pada fase cair dengan suhu 35°C dan tekanan 1 atm dalam kolam penyimpanan. Selanjutnya dilakukan fermentasi secara anaerobik dalam UASB reactor. Dalam tahap pemurnian, biogas kemudian dimurnikan dengan proses *water scrubber* dengan menggunakan air dalam kolom absorber dan kemudian di simpan dalam tangki penyimpanan biogas. Pada tahap pengolahan, *effluent* dari reaktor UASB dialirkan dengan pompa menuju *clarifier*. Pabrik Biogas ini beroperasi secara kontinyu, 24 jam/hari selama 330 hari/tahun. Dari analisa ekonomi yang telah dibuat rencana pembuatan pabrik biogas ini, *Internal Rate Return* (IRR) yang diperoleh sebesar 17,49% yang mengindikasikan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan dan diperoleh *Pay Out Time* (POT) sebesar 4,1 tahun. Perhitungan analisa ekonomi didasarkan pada *discounted cash flow*. Modal yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik ini sebesar Rp 40.519.153.952 dan laba bersih yang diperoleh selama 10 tahun adalah Rp 111.883.925.905. Sedangkan *Break Even Point* yang diperoleh sebesar 34,27%.

Kata Kunci—Crude Palm Oil, Chemical Oxygen Demand, Biological Oxygen Demand, Fermentasi, UASB.

I. PENDAHULUAN

Dalam 10 tahun terakhir ini pabrik kelapa sawit (PKS) di Indonesia berkembang dengan sangat pesat. Pada periode tahun 1980-an hingga pertengahan tahun 1990-an luas areal kebun meningkat dengan laju 11% per tahun. Sampai dengan tahun 2010 produksi CPO diperkirakan meningkat dengan laju 5-6% per tahun, sedang untuk periode 2010 - 2020 pertumbuhan produksi berkisar antara 2% - 4%. Pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) dalam

mengolah setiap ton tandan buah segar (TBS) akan menghasilkan rata-rata 120-200 kg *crude palm oil* (CPO).

Proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi *crude palm oil* (CPO) menghasilkan biomassa produk samping yang jumlahnya sangat besar. Tahun 2004 volume produk samping sawit sebesar 12.365 juta ton tandan kosong kelapa sawit (TKKS), 10.215 juta ton cangkang dan serat, dan 32.257- 37.633 juta ton limbah cair (*Palm Oil Mill Effluent/POME*). Jumlah ini akan terus meningkat dengan meningkatnya produksi TBS Indonesia. Produksi TBS Indonesia di tahun 2004 mencapai 53.762 juta ton dan pada tahun 2010 diperkirakan mencapai 64.000 juta ton. Berikut data produksi CPO beberapa pabrik, dan estimasi produksi POME. Dari produksi 1 ton CPO rata-rata dapat menghasilkan 3 ton POME.[5]

Limbah cair kelapa sawit merupakan sumber pencemar potensial yang dapat memberikan dampak serius bagi lingkungan, sehingga pabrik dituntut untuk menangani limbah ini melalui peningkatan teknologi pengolahan (*end of pipe*) dikarenakan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) dari POME yang sangat tinggi yakni 40.000-70.000 mg/L dan 20.000-40.000 mg/L. Oleh karena itu harus dilakukan *treatment* untuk membuat limbah ini menjadi limbah yang berguna seperti mengubah limbah ini menjadi gas metana yang dapat digunakan untuk meningkatkan produksi listrik.

Konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Ketersediaan energi di Indonesia semakin menipis sebanding dengan kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Ketersediaan energi Indonesia yang semakin tipis ini memacu pemerintah mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 5 tahun 2005 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif. Oleh karena itu harus dilakukan *treatment* untuk membuat limbah ini menjadi limbah yang berguna seperti mengubah limbah ini menjadi gas metana yang dapat digunakan untuk meningkatkan produksi listrik. Salah satunya, membuat suatu pra rancangan pabrik untuk mengolah limbah cair kelapa sawit menjadi gas metana sebagai sumber kebutuhan listrik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Biogas

Biogas merupakan produk akhir dari degradasi anaerobik bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik dalam lingkungan dengan sedikit oksigen. Komponen terbesar yang terkandung dalam biogas adalah metana 55 - 70 % dan

karbon dioksida 30 – 45 % serta sejumlah kecil, nitrogen dan hidrogen sulfide. [1]

Metana (CH_4) dimanfaatkan sebagai bahan bakar, apabila kandungan metana dalam biogas lebih dari 50% maka biogas tersebut telah layak digunakan sebagai bahan bakar. Tabel 1 menunjukkan komposisi biogas secara umum.

Tabel 1. Komposisi Biogas Secara Umum

| Komposisi Biogas | Jumlah |
|---|--------|
| Metana (CH_4) | 55-70% |
| Karbon dioksida (CO_2) | 30-45% |
| Nitrogen (N_2) | 0-0.3% |
| Hidrogen Sulfida (H_2S) | 1-5% |

II.2. Proses Produksi Biogas

II.2.1 Pengolahan dengan Kolam Anaerobik

Kolam pengolahan aerobik adalah metode pengolahan limbah cair kelapa sawit yang paling sering digunakan, sekitar 85% pabrik minyak kelapa sawit memakai metode ini. Kolam anaerobik dapat menerima masukan beban anaerob dalam jumlah yang sangat besar (biasanya > 300 mg/l BOD atau setara dengan 3.000 kg/Ha/hari untuk kolam berkedalaman 3 m). [4]

II.1.2 Pengolahan dengan Anaerobic Digester

Anaerobic digester memiliki *retention time* selama 20 hari, dengan emisi metana sebesar 36%, lebih kecil daripada kolam anaerobik. Komposisi metana yang kecil ini disebabkan karena adanya transfer oksigen yang terjadi saat *feed* dimasukkan dalam tangki. *Anaerobic digester* dapat dilengkapi dengan *mixer* (pengaduk). Pengadukan dalam tangki digester dapat meningkatkan proses *digestion* yang disebabkan karena bakteri akan lebih sering berkontak dengan *feed*. [4]

II.1.3 Pengolahan dengan Anaerobic Filtration

Anaerobic filter dipilih untuk pengolahan air limbah karena (i) memerlukan volume yang lebih kecil dan reaktor yang beroperasi pada *retention time* yang lebih singkat, (ii) efisiensi penguraian substrat yang tinggi, (iii) kemampuan untuk mempertahankan konsentrasi tinggi dari biomassa dalam kontak dengan air limbah tanpa mempengaruhi efisiensi, dan (iv) toleransi terhadap beban kejut. Dalam pengolahan POME, efisiensi pengurangan COD tertinggi adalah 94% dengan komposisi metana 63%, pada OLR dari 4,5kg COD/m³ per hari, sedangkan COD *removal* secara umum efisiensinya mencapai 90% dengan metana rata-rata sebesar 60%. [4]

II.1.4 Pengolahan dengan Fluidized Bed Reactor

Reaktor *fluidized bed* memiliki beberapa keunggulan yang membuat reaktor ini sangat berguna untuk pengolahan limbah yang mempunyai COD dan BOD tinggi. Reaktor ini memiliki luas permukaan yang sangat besar untuk biomassa yang memungkinkan pengolahan limbah dengan OLR tinggi dan HRT pendek selama operasi. *Anaerobic filtration bed* dapat menghilangkan sedikitnya 60% dan hingga lebih dari 90% COD. [4]

II.1.5 Pengolahan dengan Up-flow Anaerobic Sludge Bed (UASB)

UASB memiliki desain yang simpel dimana *sludge* dari material organik yang didegradasi dan biomassa akan mengendap di reaktor. Materi organik dari limbah yang berkontak dengan *sludge* akan diolah oleh *granule* biomassa.

Pengolahan POME dengan UASB telah terbukti sukses dengan efisiensi pengurangan COD hingga 98,4% dengan

OLR sebesar 10,63 kg COD/m³day. Pengolahan dengan UASB reaktor memiliki keunggulan karena kemampuannya untuk mengolah limbah dengan kandungan *suspended solid* tinggi, dan produksi metana yang tinggi. Namun, reaktor ini memiliki waktu *start-up* yang lama. [4]

II.1.6 Pengolahan dengan Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Fixed Film (UASFF)

UASFF adalah gabungan antara UASB reaktor dan *anaerobic filter*. UASFF menggabungkan keunggulan dari kedua reaktor dan meminimalkan kekurangan masing-masing reaktor. Penelitian yang telah dilakukan, membuktikan bahwa reaktor UASFF lebih efisien dibandingkan dengan UASB dan *anaerobic filter*. Reaktor UASFF dapat mencapai efisiensi pengurangan COD sebesar 70%. Produksi metana dari reaktor ini juga memuaskan. Dalam pengolahan POME didapatkan bahwa *internal packing* dan *recycle ratio* yang tinggi sangat berpengaruh dalam performa reaktor UASFF. [4]

II.1.7 Pengolahan dengan Continued Stirred Tank Reactor (CSTR)

CSTR ialah tangki digester yang diberi *mixer* (pengaduk). Agitator ini berfungsi untuk memperluas kontak area dengan biomassa sehingga dapat meningkatkan produksi gas. Dalam pengolahan POME dengan CSTR, telah diaplikasikan oleh pabrik Keck Seng, Johor, Malaysia dan inilah satu-satunya reaktor yang beroperasi secara kontinu sejak tahun 1980. Reaktor Keck-Seng mempunyai efisiensi pengurangan COD sebesar 60%. Untuk komposisi metana ditemukan sebesar 62,5% untuk pengolahan POME, dan 22,5 – 76,9% untuk pengolahan limbah harian. Jenis CSTR lainnya mengindikasikan efisiensi pengurangan COD sebesar 93,6% - 97,7%. Perbedaan ini dapat disebabkan karena perbedaan kondisi operasi. [4]

III. URAIAN PENELITIAN

III.1 Spesifikasi Bahan Baku

Bahan baku utama pada studi awal proses pembuatan biogas penelitian ini adalah limbah cair kelapa sawit yang berasal dari PT. Musim Mas yang terletak di Pangkalan Lesung, kabupaten Pelalawan. Pabrik pengolahan limbah cair kelapa sawit (POME) ini akan didirikan dekat dengan PT. Musim Mas. Dengan produksi POME sebesar 215.181 ton/tahun dan terletak di provinsi Riau, yaitu provinsi penghasil kelapa sawit terbesar di Indonesia, maka lokasi ini menjadi lokasi pendirian yang tepat. Kabupaten Pelalawan dipilih sebagai lokasi untuk pendirian pabrik biogas dari limbah POME ini, dikarenakan luas areal perkebunan kelapa sawit pada kabupaten Pelalawan cukup luas berdasarkan data Direktorat Jendral Perkebunan RI pada tahun 2011.

III.1.1 Limbah POME

Spesifikasi yang menggambarkan karakteristik limbah terdiri dari sifat fisik, kimia dan biologi. Karakteristik limbah berdasarkan sifat fisik meliputi suhu, kekeruhan, bau, dan rasa. Berdasarkan sifat kimia meliputi kandungan bahan organik, protein, BOD, *chemical oxygen demand* (COD).

Tabel 2. Karakteristik Limbah PMKS dan Baku Mutu Limbah*

| Parameter | Limbah PMKS** | Baku Mutu Limbah |
|---|---------------|------------------|
| PH | 4,7 | 6-9 |
| Total Suspended Solid (mg/L) | 18 | 0,4 |
| Kebutuhan oksigen biokimia [BOD] (mg/L) | 25 | 0,1 |
| Kebutuhan oksigen [COD] (mg/L) | 50 | 0,3 |
| Kandungan Nitrogen Total (g/L) | 0,75 | 0,2 |
| Oil and grease (g/L) | 4 | 0,05 |

*Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2003

**PMKS = Pabrik Minyak Kelapa Sawit

III.1.2 Kotoran Sapi

Kotoran sapi digunakan sebagai *starter* karena mengandung bakteri-bakteri yang dibutuhkan untuk proses *anaerobic digestion*, yaitu bakteri Hidrolitik, Asidogenik Fermentatif, Asetogenik, dan Metanogen.

III.1.3 Diamonium Fosfat (DAP)

Bahan ini memiliki komposisi, $P_2O_5=53\%$, $N=20,8\%$, dengan moisture sebesar 0,2%.

III.1.4 Urea

Bahan ini memiliki komposisi, nitrogen=46%, Biuret=0,5%, dengan moisture sebesar 0,5%.

III.1.5 $Ca(OH)_2$

Calcium dihydroxide, $Ca(OH)_2$, digunakan untuk menaikkan pH pada POME atau bisa dikatakan sebagai agen penetralisasi.

III.2 Tahap Pre-Treatment

Bahan baku limbah cair pengolahan kelapa sawit (POME) disimpan pada fase cair dengan suhu $35^\circ C$ dan tekanan 1 atm dalam kolam penyimpanan. Bahan baku POME didapatkan dari unit pengolahan kelapa sawit PT. Musim Mas. POME dari tangki penyimpanan dipompa menuju tangki pencampuran untuk dicampur dengan $Ca(OH)_2$, Urea, dan DAP. Penambahan $Ca(OH)_2$ dimaksudkan agar pH POME sekitar 6-7, dalam range pH inilah mikroorganisme anaerob dapat tumbuh optimal. Selain $Ca(OH)_2$, POME juga ditambahkan beberapa nutrisi seperti Urea dan DAP untuk membantu pertumbuhan bakteri. Penambahan urea sebagai sumber N, dan DAP sebagai sumber P digunakan sebagai sumber nutrisi bagi organisme untuk tetap berkembangbiak di dalam *reactor*.

III.3 Tahap Fermentasi

Dalam UASB *reactor* akan terjadi proses fermentasi. UASB *reactor* merupakan *reactor* anaerob bersistem *upflow* dimana POME dialirkan dari bawah dan melewati *sludge bed* berisi mikroorganisme. Proses fermentasi ini berlangsung pada suhu optimum $37^\circ C$ dan tekanan 1 atm. Pada *reactor* telah ditambahkan mikroorganisme yang telah disiapkan pada tangki *starter*. Penambahan *starter* ini dilakukan ketika *start-up* *reactor* UASB, yang memerlukan waktu selama 6 bulan. Substrat (kotoran sapi) yang masuk dalam tangki *starter* dikondisikan sampai kandungan VSS (Volatile Suspended Solid) 8000 kg VSS/m^3 . Substrat yang dimasukkan *reactor* sebanyak 25% volume *reactor* atau 1 : 3 *working volume*. [2]

Reaktor dijaga pada suhu mesofilik, suhu optimum pertumbuhan bakteri metanogenesis menggunakan jaket pada *reactor* yang dialiri air pendingin. Waktu tinggal POME dalam *reactor* yakni 12 jam. Untuk hasil optimum penghilangan COD dan lemak setidaknya butuh waktu 12 jam.[2]

Hasil fermentasi ini adalah biogas sebagai produk atas. Komposisi biogas yang dihasilkan terdiri atas CH_4 54 % - 70 %, CO_2 27 % - 45 %, serta sedikit gas pengotor.

III.4 Tahap Purifikasi

Biogas kemudian dimurnikan dengan proses *water scrubber* dengan menggunakan air dalam kolom absorber. Sebelum masuk kolom absorpsi, biogas dinaikkan tekanannya menjadi 9 atm untuk meningkatkan kelarutan karbon dioksida (CO_2) dalam air dengan menggunakan dua kompresor *single stage* disertai dengan *aftercooler*. Kelarutan CO_2 pada kondisi 9 atm mampu larut dalam air sebanyak 1,3 gr CO_2 per 100 gr air. [3]

Kolom absorber yang digunakan adalah packed tower dengan jenis packing rasching ring 50 mm dari keramik. Kolom absorpsi dapat menyerap CO_2 sebesar 92%. Sehingga hasil dari kolom absorpsi adalah produk biogas dengan kadar CH_4 97%, CO_2 1,85% dan sisanya adalah gas lain, sedangkan air yang telah bercampur dengan CO_2 akan diregenerasi dengan stripper menggunakan udara. Stripper mampu mengeliminasi CO_2 hingga 85% untuk ketinggian pack 8 ft dan perbandingan Gas/Liquid=10. Biogas yang telah dipurifikasi kemudian disimpan pada CH_4 storage.

III.5 Tahap Pengolahan Effluent UASB

Aliran *effluent* dari *reactor* UASB dialirkan dengan pompa menuju *clarifier* dengan menggunakan pompa *effluent*. Dalam *clarifier*, air limbah dan substratnya dipisahkan. Substrat (padatan) yang dihasilkan kemudian dipompa menuju *filter press* untuk dipisahkan antara *cake* dan filtratnya. Filtrat dapat digunakan sebagai pupuk cair yang merupakan produk bawah. Sedangkan produk atas yaitu *cake* yang dihasilkan dapat digunakan sebagai kompos.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Produksi

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa limbah cair kelapa sawit yang berasal dari PT. Musim Mas mampu menghasilkan biogas dengan kapasitas sebesar 2453 ton/tahun dengan parameter sebagai berikut :

Tabel 3. Spesifikasi Produk Biogas

| Spesifikasi | Nilai | Satuan |
|------------------|---------|--|
| Kandungan CH_4 | 286,748 | Ton |
| Kandungan CO_2 | 21,949 | Ton |
| Kandungan H_2O | 0,998 | Ton |
| Densitas CH_4 | 0.6679 | kg/m^3 (1 atm, $32^\circ C$) |

IV.2. Ekonomi

Setelah diperoleh analisis hasil produksi pabrik biogas ini, maka selanjutnya dapat dilakukan analisis ekonomi sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Perhitungan Analisis Ekonomi

| Keterangan | Unit | Jumlah |
|------------------------------------|---------------|-------------------|
| <i>Total Capital Investment</i> | Rp | 39.627.534.427,28 |
| Laju inflasi | % | 5 |
| <i>Net Present Value</i> (10 year) | Rp | 41.410.773.476,51 |
| <i>Internal Rate of Return</i> | % | 17,5 |
| <i>Pay Out Time</i> | tahun | 4,1 |
| <i>Break Even Point</i> | % | 34,27 |
| Harga Bahan Baku | USD/ton/tahun | 212.751,21 |
| Harga Jual Biogas | USD/ton/tahun | 1.968.225,73 |
| <i>Project life</i> | tahun | 10 |
| Waktu Konstruksi | ahun | 2 |
| Operasi Per Tahun | hari/tahun | 330 |

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa studi awal perencanaan operasi pabrik biogas dari limbah cair kelapa sawit ini dilakukan secara kontinyu selama 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Kapasitas produksi pabrik ini sebesar 2453 ton/tahun dengan jumlah pasokan bahan baku yang berupa $\text{Ca}(\text{OH})_2$, DAP, Urea, Silica Gel, Kotoran Sapi sebesar 791,061 ton/tahun. Diperkirakan umur pabrik ini adalah 10 tahun dengan masa konstruksi 2 tahun, dimana rincian analisis ekonomi sebagai berikut :

| | |
|---------------------------------|------------------------|
| <i>Total Capital Investment</i> | = Rp 39.627.534.427,28 |
| <i>Internal Rate of Return</i> | = 17,5% |
| <i>Pay Out Time</i> | = 4,1 tahun |
| <i>Break Even Point</i> | = 34,27% |

Berdasarkan hasil analisis ekonomi tersebut, terlihat bahwa IRR sebesar 17,5%, dengan POT pada tahun keempat menginjak tahun kelima. Selain itu, terlihat pula bahwa fluktuasi bahan baku tidak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kenaikan atau penurunan nilai IRR pabrik. Sehingga pabrik biogas dari limbah cair kelapa sawit ini layak untuk didirikan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deublein, Dieter, Steinhauser, A. 2008. "Biogas from Waste and Renewable Resources". Weinheim : Wiley – VCH.
- [2] Goodwin, J, Wase, D., Forster, C. 1992. "Pre-granulated Seeds for UASB Reactors : How Necessary are They ?". Birmingham : Elsevier Bioresource Technology.
- [3] Lems, R, Erwin, D. 2009. "Making Pressurized Water Scrubbing the Ultimate Biogas Upgrading Technology with the DMT Carbonex PWS System". Netherlands : DMT Environmental Technology.
- [4] Poh, P.E., Chong, M.E. 2008. "Development of Anaerobic Digestion Methods for Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment". Malaysia : Elsevier Publishing Company.
- [5] Suprihatin, Gambira Said, E., Suparno, O., Hasanudin, U. 2014. "The Pattern of Biogas Production from Palm Oil Effluent : In Pursuit of Greener Argoindustry". Lampung : Department of Agricultural Technology.