PRA RANCANGAN PABRIK BIOGAS DARI PALM OIL MILL EFFLUENT (POME) DENGAN KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN

Susilowati[1,*], Shafirra Asrowi Puteri[1], Zilma Aliyah Farwah[1]
Boy Arief Fachri[1], Zuhriah Mumtazah[1]

[1]Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Uniiversitas Jember Jl. Kalimantan No. 37, Jember Jawa Timur, 68121
**E-mail*: susilowatilia1@gmail.com

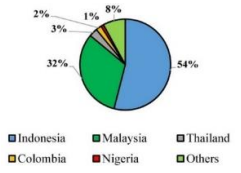
Abstrak

Biogas merupakan gas yang terbentuk secara alamiah melalui proses fermentasi anaerobik yang salah satu bahan bakunya dari limbah cair kelapa sawit atau dikenal sebagai POME (Palm Oil Mill Effluent). POME merupakan polutan dari industri kelapa sawit yang paling banyak menimbulkan masalah lingkungan karena kandungan senyawa organiknya tinggi di atas baku mutu. POME yang tidak diolah dapat melepaskan CH_4 dan CO_2 ke atmosfer dalam bentuk gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan peningkatan suhu permukaan bumi sehingga mempengaruhi komunitas biotik bumi. Penanganan lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan mengolah POME menjadi biogas. Pembentukan biogas menggunakan metode fermentasi anaerobik selama 4 hari dan dimurnikan menggunakan chemical absorbtion pelarut monoethanolamine (MEA). Perancangan pabrik biogas dengan bahan baku POME akan didirikan pada tahun 2025 dengan kapasitas produksi 12.000 ton/tahun. Lokasi pabrik direncanakan berada di daerah Sebawi, Kab. Sambas, Kec. Sebawi, Kalimantan Barat dengan luas area 59.620 m^2. Tenaga kerja yang diperlukan sebanyak 140 pekerja dengan perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang menerapkan sistem organisasi line and staff. Berdasarkan analisa ekonomi, diperoleh Annual Cash Flow (ACF) sebesar 30%, Pay Out Time (POT) sebesar 3,7 tahun, Rate Of Return (ROR) sebesar 21,38%, Discounted Cash Flow (DCF) sebesar 28,1%, dan Break Even Point (BEP) sebesar 54,9%, sehingga pabrik layak didirikan.

Kata kunci : *biogas, fermentasi anaerobik, palm oil mill effluent (POME)*

1. Pendahuluan

Berdasarkan data dari *Food and Agriculture Organization* (FAO), Indonesia merupakan negara produsen kelapa sawit terbesar di ASEAN ataupun dunia dengan total produksi minyak kelapa sawit pada tahun 2020 mencapai 256,53 juta ton (Rumokoy et al., 2019). Minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati yang memiliki permintaan global tertinggi. Oleh karena itu, industri minyak sawit dunia diharapkan dapat tumbuh secara substansial untuk memenuhi permintaan global yang terus meningkat. Situasi ini dapat ditemukan di dua negara produsen minyak kelapa sawit terbesar dunia yaitu Indonesia dan Malaysia. Kedua negara tersebut menyumbang sebanyak 85−90% dari total produksi minyak kelapa sawit global. Tetapi potensi kelapa sawit Indonesia lebih mendominasi dibandingkan negara lain di Asia Tenggara seperti terlihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1 Total produksi kelapa sawit di Asia Tenggara (Aziz et al., 2020)

Proses produksi di pabrik kelapa sawit terdiri dari sterilisasi, pengupasan, klarifikasi, dan pemulihan minyak inti sawit. Proses ini menghasilkan limbah padat dan cair, dengan komposisi limbah cair yang mendominasi. Setiap ton tandan buah kelapa sawit segar akan menghasilkan 0,7−1 m^3 POME (Lok et al., 2020). POME merupakan polutan dari industri kelapa sawit yang paling banyak menimbulkan masalah lingkungan karena kandungan senyawa organiknya yang tinggi di atas baku mutu yang disyaratkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 dengan dampak 100 kali lebih mencemari dibandingkan limbah domestik (Aznury et al., 2018; Chan & Chong, 2019).

Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO) adalah kebijakan yang dibuat oleh Pemerintah Republik Indonesia tentang peningkatan daya saing produksi sawit Indonesia, berkontribusi mengurangi emisi gas rumah kaca, serta memberikan perhatian yang lebih terhadap dampak lingkungan hidup. Adapun limbah produksi kelapa sawit yang saat ini menjadi fokus utama untuk terus ditingkatkan pemanfaatannya yaitu *Palm Oil Mill Effluent* (POME) (Pangarso & Kusdiyantini, 2022). Berdasarkan Kebijakan Energi Nasional, target energi terbarukan adalah 23% dari bauran energi nasional pada tahun 2025. Potensi sumber energi baru terbarukan di Indonesia sangat

melimpah, salah satunya ialah biogas. Dengan target bauran energi sumber energi baru terbarukan (EBT) yang diharapkan dapat memenuhi lebih dari 31% kebutuhan energi nasional.

Kapasitas produksi pabrik adalah jumlah keluaran maksimum yang dapat diproduksi pada pabrik menggunakan satuan waktu tertentu. Perhitungan kapasitas produksi yang baik dapat membantu dalam pemenuhan kebutuhan masyarakat (Choirunnisa & Mustain, 2022). Penentuan kapasitas produksi dilakukan berdasarkan data pendukung yaitu produsen biogas di Indonesia dan memprediksi limbah cair yang dihasilkan. Penentuan kapasitas ditentukan berdasarkan potensi POME yang dihasilkan oleh PT. Fajar Saudara Kusuma yaitu sebesar 57,5 ton/tahun Tandan Buah Segar (TBS) dengan nilai konversi menjadi POME sebesar 77%. Presentase ini akan digunakan sebagai acuan perhitungan produksi pabrik biogas yang akan didirikan. Selanjutnya penentuan kapasitas pabrik didasarkan pada perbandingan kapasitas produksi produsen biogas lain di Indonesia. Pada DSN group memproduksi 280 m^3/jam, PT. Energi Agro Nusantara 1.000 m^3/jam, PT. Inti Indo Sawit 390,1 m^3/jam. Sedangkan kapasitas produksi biogas pada prarancangan pabrik ini ialah sebesar 2.621 m^3/jam. Kapasitas tersebut sudah melampaui kapasitas produksi produsen lain, sehingga dipilih pabrik yang akan didirikan dengan kapasitas 12.000 Ton/Tahun.

2. Deskripsi Proses

2.1 Pemilihan Proses

Pemilihan proses ialah tahapan yang krusial mengenai keputusan dalam memilih jenis teknologi proses dan tipe alat yang terbaik untuk digunakan melalui berbagai pertimbangan. Hal ini dikarenakan pemilihan proses yang baik akan menentukan keoptimalan berjalannya suatu produksi pabrik, sehingga akan memberikan profit yang tinggi (Choirunnisa & Mustain, 2022). Mengacu pada berbagai pertimbangan proses produksi biogas, maka dalam prarancangan pabrik biogas dari limbah POME akan menggunakan proses sebagai berikut:

a) Proses pegolahan POME menggunakan jenis fermentasi anaerobik dengan tahapannya yaitu:
- Hidrolisis, yaitu proses konversi senyawa kompleks (seperti lemak, protein dan karbohidrat) menjadi monomer atau senyawa yang lebih sederhana (seperti asam lemak, asam amino dan gula) (Ohimain & Izah, 2017).
- Asidogenesis, yaitu proses perubahan gula-gula amino menjadi asam organik dan alkohol.
- Asetogenesis, yaitu proses reaksi yang menghasilkan asam asetat, karbon dioksida (CO_2), dan hidrogen (H_2).
- Metanogenesis, yaitu proses pembentukan gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) (Mirnandaulia et al., 2019).

b) Tipe digester *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) karena memberikan konversi produksi relatif tinggi dibandingkan dengan covered lagoon. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya catatan historis keberhasilannya. (Chan & Chong, 2019) melaporkan bahwa CSTR memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan covered lagoon dalam menghasilkan jumlah gas metana per kg COD yang diolah dalam sistem. Selain itu, CSTR juga tidak membutuhkan tempat yang lebar.

c) Konfigurasi bioreakor bertipe double stage yang disusun seri

d) Waktu fermentasi dilakukan selama 4 hari pada masing-masing fermentor

e) Kondisi operasi fermentasi dilakukan dalam kisaran suhu mesofilik (35°C)

f) Zat alkali untuk pengstabil pH digunakan larutan NaOH

g) Bakteri fermentasi yang digunakan yaitu *Clostridium* sp. (hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis) dan *Methanococcus* sp. (metanogenesis)

h) Pemurnian biogas menggunakan teknologi *Chemical Absorption* (CA) dengan pelarut monoethanolamine (MEA)

2.2 Uraian Proses

2.2.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku dalam pembuatan biogas adalah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah cair yang berasal dari pengolahan kelapa sawit. Proses *pretreatment* bertujuan untuk membuat bahan baku dapat mudah dikonsumsi oleh mikroorganisme yang akan bekerja meningkatkan laju reaksi dalam pencernaan anaerobik sehingga meningkatkan produksi biogas (Aziz et al., 2020). POME yang sudah bersih dari limbah padatan seperti serabut dan cangkang kelapa sawit dari proses produksi Pabrik Kelapa Sawit (PKS) di alirkan ke kolam Fat Pit (F-110) sebagai tempat penampungan sementara (Nurdiah et al., 2018). POME memiliki suhu berkisar antara 80-90°C dan pH 4,3 sehingga memerlukan penyesuaian dengan kondisi fermentor 1 pada suhu 35°C dengan kisaran pH 5,5 yang dilakukan pada *cooler* (E-121) dan *tangki netralisasi* (R-120) menggunakan larutan 1 M NaOH (Omoregie et al., 2023). Ketika proses penyesuaian pH pada POME menggunakan larutan NaOH sedang berlangsung terjadi reaksi ekostermis sehingga dilakukan penyetabilan suhu menggunakan jaket pendingin pada *tangki netralisasi*. Umumnya, *pretreatment* alkali dilakukan sebagai *buffer* penjaga pH sebelum masuk digester agar bakteri metanogenesis tidak mati (Murti et al., 2019). Selanjutnya POME ditampung dalam *storage tank fermentation* (F-130).

2.2.2 Proses Fermentasi

Berdasarkan (Angelidaki et al., 1999), pembentukan biogas terjadi dari proses pendegradasian senyawa karbohidrat, protein dan lemak. Pada fermentor 1 (R-210) dilakukan tahap fermentasi hidrolisis, asidogenesis dan asetogenesis yang dibantu

oleh bakteri *Clostridium* sp. dengan pengaturan pH awal 5,5 dan beroperasi pada kisaran pH 5,2 – 5,8. Sedangkan pada fermentor 2 (R-220) terjadi fermentasi lanjutannya yaitu metanogenesis yang dibantu oleh bakteri *Methanococcus* sp. dengan pengaturan pH awal 7 (netral) dan beroperasi pada kisaran pH 6,2 - 8,1 (Iriani et al., 2017). Perlu dilakukan pemantauan pH dan penambahan larutan NaOH secara berkala pada fermentor selama terjadinya reaksi agar kondisi pH stabil. Sebelum proses fermentasi terjadi, dilakukan *flushing* gas nitrogen kedalam reaktor pada tekanan 15 bar. *Flushing* dilakukan dengan cara menginjeksikan gas nitrogen ke dalam reaktor. Hal ini dilakukan agar gas oksigen yang ada didalam reakor keluar melalui lubang dan tergantikan oleh gas nitrogen. Pengamatan tekanan gas dilakukan setiap hari (Mellyanawaty et al., 2019).

POME yang disimpan dalam *storage tank fermentation* (F-130) selanjutnya diumpankan ke dalam fermentor 1 (R-210), yang diikuti dengan nutrisi ($FeCl_2$, $NiCl.6H_2O$, $CoCl_2.6H_2O$, dan NH_4HCO_3), dan bakteri *Clostridium* sp. (Suraya et al., 2012). Kemudian proses fermentasi dilanjutkan dalam digester fermentor 2 (R-220) dengan dilakukan penstabilan pH menjadi 7 (netral) menggunakan larutan NaOH. Kemudian dilakukan penambahan nutrisi dan bakteri *Methanococcus* sp.. Proses fermentasi dilakukan dalam kondisi mesofilik (30˚C) dan dijaga kestabilan suhunya menggunakan jaket pendingin pada fermentor. Selama proses fermentasi juga dilakukan pengadukan menggunakan *impeler* tipe *paddle* dengan kecepatan 100 rpm selama 15 menit perhari (Aznury et al., 2018). Pengadukan dilakukan agar proses pendistribusian nutrsi dan larutan basa terjadi secara merata di seluruh area digester sehingga pH dan lingkungan tempat fermentasi berjalan dengan seragam. Pengadukan ini memberikan peluang kontak antara mikroorganisme dengan POME (substrat) semakin tinggi, sehingga membuat proses pendegradasian semakin cepat (Suryani et al., 2018). Selain itu, pengadukan juga dapat mencegah terjadinya akumulasi hasil metabolisme yang berkonsentrasi tinggi yang dapat menghambat proses fermentasi (Aznury et al., 2018). Reaksi fermentasi memberikan presentase konversi reaksi yang berbeda di tiap tahapannya (Gavala et al., 2003). Proses fermentasi dilakukan selama 4 hari pada masing-masing fermentor mengacu pada penelitian (Tena et al., 2021) yang memberikan yield biogas paling optimal.

Setelah proses fermentasi biogas selesai dilakukan, gas diturunkan tekananya mengunakan ekspander hingga 47 bar dan disimpan sementara dalam *gas accumulator* (F-230) sebelum dilakukan pemurnian (Farooqi et al., 2022). Sedangkan produk residu sisa fermentasi akan ditampung dalam tangki pengendapan untuk dilakukan pendegradasian bahan organik lebih lanjut pada unit produksi pupuk (Lam & Lee, 2011).

2.2.3 Pemurnian Produk

Biogas yang tersimpan dalam *gas accumulator* (F-230) memiliki kandungan *impurities* seperti CO_2, dan sejumlah kecil hidrogen sulfida (H_2S). *Impurities* harus dihilangkan untuk meningkatkan kemurnian biogas terutama pada karbon dioksida (CO_2), yang menyebabkan penurunan nilai kalor pembakaran gas metana (CH_4) (Yanti et al., 2018). Selain itu, hidrogen sulfida (H_2S) juga perlu diturunkan konsentrasinya sampai batas maksimum 20 ppm sesuai dengan standar keselamatan dan kesehatan (Bow et al., 2021). Hal ini dikarenakan keberadaan hidrogen sulfida (H_2S) dalam biogas bersifat korosif yang mampu merusak mesin, dan mampu membentuk oksida sulfur (SO_X) akibat pembakaran yang menimbulkan emisi beracun pada lingkungan (Yanti et al., 2018). Proses pemurnian ini menggunakan *chemical absorption* dengan *monoethanolamine* (MEA) sebagai pelarutnya.

Biogas diumpankan ke kolom *scrubber* dari bawah kolom, sedangkan pelarut *lean amine* (MEA) diumpankan dari atas kolom, untuk memungkinkan gas asam mengalir ke atas dalam arah aliran berlawanan dengan arah pelarut *lean amine* (MEA) dan saling berkontak (Pourjazaieri et al., 2011). Produk atas *scrubber* (D-310) berupa biogas yang memiliki kemurnian metana (CH_4) > 90% diturunkan tekanannya menggunakan *ekspander* (G-331) hingga 6.2 dan di alirkan pada *storage tank gas* (F-330) sebagai tempat penyimpanan sebelum di distribusikan. *Rich amine* di bagian bawah kolom *scrubber* (D-310) dilakukan proses *recycle* dengan cara dipanaskan terlebih dahulu di *heat exchanger* (E-331) hingga 96°C, bertukar panas dengan *rich amine* produk bawah dari kolom *stripper* (D-320). Kemudian larutan ini dimasukkan ke bagian atas kolom *stripper* (D-320), dengan tekanan operasi sebesar 2 bar (Pourjazaieri et al., 2011). Produk atas yang dihasilkan berupa gas H_2S dan CO_2 akan diproses lebih lanjut pada unit pengolahan limbah gas. Sedangkan larutan MEA sebagai produk bawah dimanfaatkan lagi sebagai pelarut pada absorber (D-310). Larutan MEA meninggalkan stripper dan memasuki *heat exchanger* (E-331) yang digunakan sebagai media pemanas. Kemudian pelarut MEA *recycle* dan MEA *fresh* dikontakkan pada *mixing point*, serta dilakukan proses pendinginan lebih lanjut pada cooler sebelum dipompa masuk kembali menuju *scrubber* (D-310) (Pourjazaieri et al., 2011).

3. Utilitas

Air yang dibutuhkan oleh pabrik biogas ini diperoleh dari sungai Sambas Besar, Kalimantan Barat. Berikut tabel 1 mengenai baku mutu air bersih sesuai dengan Permenkes RI Nomer 32 Tahun 2017 :

Tabel 1 Baku mutu air di daerah Sambas, Kalimantan Barat

Parameter	Baku Mutu	Sumber air sungai Sambas besar
pH	6,5 – 9,0	6 – 9
Total hardness (ppm)	500	254,33
Rasa	Tidak Berasa	Tidak Berasa
Suhu (°C)	25	26 – 30

Sumber: Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017

Air yang diambil dari sungai selanjutnya akan melalui beberapa proses pada *water intake* untuk dilakukan proses pemurnian yaitu tahap pra-sedimentasi dan sedimentasi, *clarifying*, filtrasi, demineralisasi, dan deaerasi. Kebutuhan air pada pabrik biogas terbagi menjadi 4 sebagai berikut:

Tabel 2 Total kebutuhan air

Jenis Kebutuhan	Laju alir (kg/hari)
Air umpan boiler	1.721.857,188
Air pendingin	239.815,43
Air sanitasi/air bersih	731,5
Air untuk Pengenceran	42.799,28
Total	**189.8062,0143**

4. Analisa Ekonomi

Evaluasi ekonomi pada suatu pabrik berkaitan dengan menentukan jumlah biaya untuk menghasilkan per satuan massa produk dan keuntungan yang dihasilkan guna menjustifikasi pembangunan pabrik. Evaluasi ekonomi dapat dilakukan dengan menerapkan beberapa cara, namun umumnya dapat ditinjau dari segi keuntungan/profit, lama dan laju perusahaan dalam mengembalikan modal, total modal akhir, serta *Break Even Point* (BEP). Berikut merupakan hasil analisa ekonomi pada pabrik biogas dari *Palm Oil Mill Effluent* dengan bunga bank 8,42% yang tersaji dalam tabel 3:

Tabel 3 Analisa Ekonomi

Analisa	Nilai	Batasan	Keterangan
ACF	30%	> 8,42%	Layak
POT	3,7 Tahun	< 5 tahun	Layak
ROR	21,38 %	> 8,42%	Layak
DCF	28,1 %	> 8,42%	Layak
BEP	54,9%	40 – 60%	Layak

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa pabrik biogas layak untuk didirikan.

5. Kesimpulan

Kesimpulan prarancangan pabrik biogas dari limbah cair POME dengan kapasitas 12.000 ton/tahun ialah sebagai berikut:

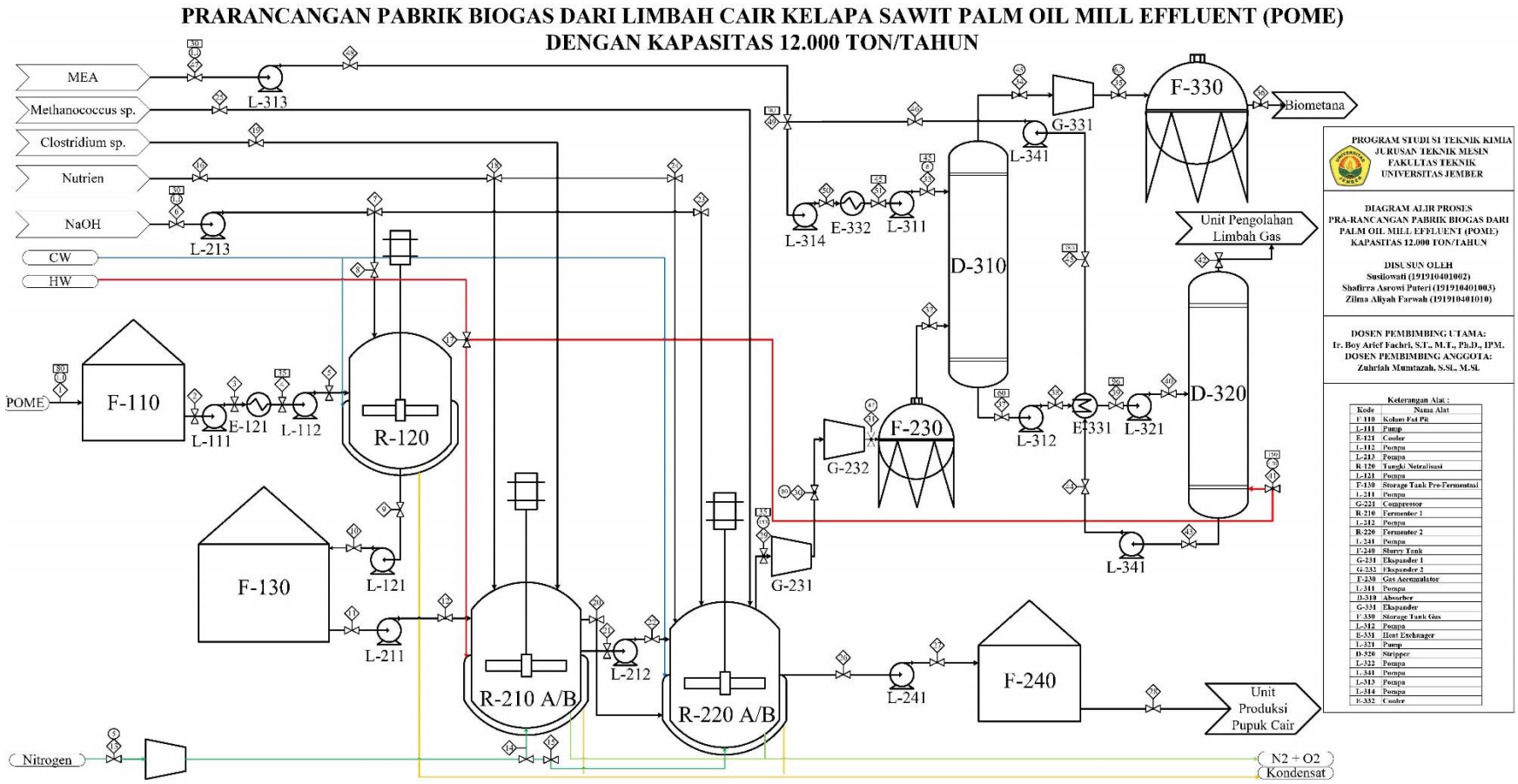
- Lokasi pabrik biogas yaitu berada di Kecamatan Sambas, Kalimantan barat dan merupakan lokasi yang strategis;
- Pabrik biogas dirancang memiliki kapasitas sebesar 12.000 ton/tahun;
- Bahan baku yang dibutuhkan yaitu *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebesar 739.200 kg/hari yang dipasok dari PT. Fajar Saudara Kusuma
- Pabrik beroperasi secara kontinyu selama 300 hari/tahun;
- Bentuk badan usaha yang direncanakan pada pabrik ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah karyawan sebanyak 140 orang;
- Pabrik layak didirikan berdasarkan evaluasi ekonomi yang meliputi *Annual Cash Flow* (ACF) sebesar 30%, *Pay Out Time* (POT) sebesar 3,7 tahun, *Rate Of Return* (ROR) sebesar 21,38%, *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 28,1%, dan *Break Even Point* (BEP) sebesar 54,9%.

Daftar Pustaka

Angelidaki, I., Ellegaard, L., & Ahring, B. K. (1999). A comprehensive model of anaerobic bioconversion of complex substrates to biogas. *Biotechnology and Bioengineering*, *63*(3), 363–372. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(19990505)63:3<363::AID-BIT13>3.0.CO;2-Z

Aziz, M. M. A., Kassim, K. A., ElSergany, M., Anuar, S., Jorat, M. E., Yaacob, H., Ahsan, A., Imteaz, M. A., & Arifuzzaman. (2020). Recent advances on palm oil mill effluent (POME) pretreatment and anaerobic reactor for sustainable biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *119*(November), 109603. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109603

Aznury, M., Purnamasari, I., Anggraini, S., Khusnul Fatimah, Y., & Srijaya Negara Bukit Besar Palembang, J. (2018). Produksi Biogas Dari Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Digester Anaerobik Modifikasi Dengan Penambahan Pengadukan Biogas Production From Palm Oil Mill Effluent Using Modified Anaerobic Digester With Agitator. *Jurnal Kinetika*, *9*(03), 12–16. https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index



Gambar 2. *Process Flow Diagram* Pabrik Biogas

Bow, Y., Kalsum, L., Hasan, A., Husaini, A., & Rusdianasari. (2021). The Purification of Biogas with Monoethanolamine (MEA) Solution Based on Biogas Flow Rate. *Proceedings of the 4th Forum in Research, Science, and Technology (FIRST-T1-T2-2020)*, *7*, 1–5. https://doi.org/10.2991/ahe.k.210205.003

Chan, Y. J., & Chong, M. F. (2019). Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment—Current Technologies, Biogas Capture and Challenges. *Springer Nature Singapore*, 71–92. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2236-5_4

Choirunnisa, A., & Mustain, A. (2022). Penentuan Kapasitas Produksi Dan Seleksi Proses Pra Rancangan Pabrik Kimia Bioetanol Gel Kapasitas 5000 Ton/Tahun. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, *8*(1), 86–93. https://doi.org/10.33795/distilat.v8i1.251

Farooqi, A. S., Ramli, R. M., Lock, S. S. M., Hussein, N., Shahid, M. Z., & Farooqi, A. S. (2022). Simulation of Natural Gas Treatment for Acid Gas Removal Using the Ternary Blend of MDEA, AEEA, and NMP. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(17). https://doi.org/10.3390/su141710815

Gavala, H. N., Angelidaki, I., & Ahring, B. K. (2003). *Kinetics and Modeling of Anaerobic Digestion Process*. *81*.

Iriani, P., Suprianti, Y., & Yulistiani, F. (2017). Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap Dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, *1*(1), 1. https://doi.org/10.33795/jtkl.v1i1.16

Lam, M. K., & Lee, K. T. (2011). Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): Win-win strategies toward better environmental protection. *Biotechnology Advances*, *29*(1), 124–141. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.10.001

Lok, X., Chan, Y. J., & Foo, D. C. Y. (2020). Simulation and optimisation of full-scale palm oil mill effluent (POME) treatment plant with biogas production. *Journal of Water Process Engineering*, *38*(March). https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101558

Mellyanawaty, M., Alfiata Chusna, F. M., & Nofiyanti, E. (2019). Proses Peruraian Anaerobik Palm Oil Mill Effluent dengan Media Zeolit Termodifikasi. *Jurnal Rekayasa Proses*, *13*(1), 16. https://doi.org/10.22146/jrekpros.39206

Mirnandaulia, M., Rachmiadji, I., & Exadius, G. (2019). Pemanfaatan Palm Oil Mill Effluent (Pome) Sebagai Alternatif Energi Terbarukan Di Salah Satu Perusahaan Kelapa Sawit Sumatera Utara. *Ready Star*, *2*(1), 25–29.

Murti, G. W., Pertiwi, A., Masfuri, I., Juwita, A. R., Adiprabowo, A. B., Dwimansyah, R., Senda, S. P., & Prasetyo, D. H. (2019). Ulasan Teknologi Pretreatment Terkini Limbah Cair POME Sebagai Umpan Digester Biogas. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, *4*(1), 17. https://doi.org/10.31544/jtera.v4.i1.2019.17-28

Nurdiah, R., Pertiwi, A., Rosyadi, E., Murti, G. W., Masfuri, I., Rini, T. P., Sholihah, A., Adiprabowo, A. B., & Hidayatullah, M. (2018). Pengembangan Proses Pre-Treatment Pome (Palm Oil Mill Effluent) Sebagai Umpan Digester Jenis CCTR Di PLTBg Sei Pagar PTPN V Riau. *Technopex*, 308–317.

Ohimain, E. I., & Izah, S. C. (2017). A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *70*(November 2016), 242–253. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.221

Omoregie, A. I., Muda, K., Rahman, M. R., Bakri, M. K. Bin, Ngu, L. H., Ong, D. E. L., Basri, H. F. Bin, Hong, C. Y., & Mokhter, M. A. (2023). Impact of palm oil mill effluent as an economic medium for soil fixation via microbially induced carbonate precipitation. In *Biomass Conversion and Biorefinery* (Nomor 0123456789). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/s13399-023-03889-4

Pangarso, S. S., & Kusdiyantini, E. (2022). Review Potensi Pemanfaatan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit PTPN 5. *Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, *6*(01), 18–31. https://doi.org/10.31289/jmemme.v6i1.6298

Pourjazaieri, S., Zoveidavianpoor, M., & Shadizadeh, S. R. (2011). Simulation of an amine-based CO2 recovery plant. *Petroleum Science and Technology*, *29*(1), 39–47. https://doi.org/10.1080/10916460903330197

Rumokoy, S. N., Monika, D., & Gumilar, L. (2019). Konsep Sinyal Informasi Pada Stasiun Pengolahan Limbah Cair PLTBg POME. *CCIT Journal*, *12*(1), 61–69. https://doi.org/10.33050/ccit.v12i1.602

Suraya, I., Tiarasti, H., Trisakti, B., Hasibuan, R., & Tomiuchi, Y. (2012). *Pembuatan Biogas Dari Berbagai Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*. *1*(1), 45–48.

Suryani, F. S., Homsah, O. F., & Basuki, M. (2018). Analisis pH dan Pengadukan Terhadap Produksi Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit. *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, *2*(1), 1. https://doi.org/10.30595/jrst.v2i1.1855

Tena, M., Perez, M., & Solera, R. (2021). Effect of hydraulic retention time on the methanogenic step of a two-stage anaerobic digestion system from sewage sludge and wine vinasse: Microbial and

kinetic evaluation. *Fuel*, *296*(March), 120674. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120674

Yanti, F. M., DwiHasuti, Z., Murti, S. . S., Valentino, N., Juwita, A. R., & Sholihah, A. (2018). Pengembangan Teknologi Desulfurisasi Melalui Motode Chemical Absorber Pada Produksi Biogas Yang Berasal Dari Limbah Palm il Mill Effluent (POME). *Jurnal Sains dan Teknologi*, *Oktober*, 1–6. jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek