

SIMULASI PENGARUH KOMPOSISI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT (POME) TERHADAP KANDUNGAN AIR BIOGAS DAN DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN SEBUAH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS

Nazaruddin Sinaga¹, Ahmad Syukran B. Nasution²

¹Staf Pengajar Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang, 50131

²Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang, 50131

*E-mail : syukran.nst@gmail.com

ABSTRAK

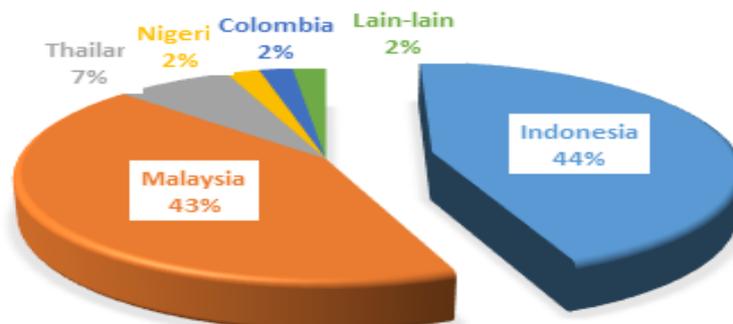
Indonesia merupakan negara dengan industri kelapa sawit terbesar di dunia. Limbah cair pabrik kelapa sawit adalah limbah cair yang berminyak dan tidak beracun, hasil pengolahan minyak sawit. Meski tak beracun, limbah cair tersebut dapat menyebabkan bencana lingkungan karena dibuang di kolam terbuka dan melepaskan sejumlah besar gas metana dan gas berbahaya lainnya yang menyebabkan emisi gas rumah kaca. Digestasi anaerobik merupakan proses konversi senyawa organik menjadi biogas dengan kondisi tanpa oksigen melalui empat tahapan. Limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) berasal dari proses produksi minyak mentah kelapa sawit atau biasanya disebut crude palm oil (CPO). Kandungan yang terdapat didalam limbah cair pabrik kelapa sawit ialah 95 % air dan 4 – 5 % padatan total. Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari pengaruh komposisi limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap kandungan air biogas dan daya listrik yang dihasilkan oleh mesin gas. Penelitian ini diharapkan dapat menemukan informasi mengenai pengoptimalan data yang ingin dicapai. Dalam simulasi ini, metode perhitungan biogas menggunakan metode stoikiometri dan metode pemurnian biogasnya ialah water scrubbing dengan kondisi operasi tekanan 9 bar dan jumlah stage sebanyak 4. Feedstream input limbah cair sebesar 400 m³/day. Digester yang digunakan ialah CSTR dengan pendegradasian sebesar 71 %. Kondisi mesophilik yang dipilih dalam simulasi ini yaitu 37 °C. Variasi Komposisi TSS POME berkisar 2 - 4 % dan komposisi air sebesar 95-96 %. Daya listrik dan panas yang dibangkitkan menggunakan mesin gas. Debit massa air tanpa cooler sebesar 0.82 kg/h dan 0.8 kg/h tanpa cooler. Simulasi ini menghasilkan daya listrik dan daya panas terbesar pada 4 % TSS sebesar 0.9961 MW menggunakan cooler. Pada kondisi tanpa cooler menghasilkan daya listrik sebesar 0.9963 MW.

Kata kunci: POME, Daya listrik, Daya panas, Kandungan air

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan industri kelapa sawit terbesar di dunia. Panen rata-rata tahunan minyak sawit mentah

Indonesia meningkat sebesar tiga persen pada 10 tahun terakhir, sedangkan wilayah yang ditanami kelapa sawit meningkat selama sembilan tahun terakhir.



Gambar 1. Sumber produksi kelapa sawit dunia [2]

Indonesia juga mengharapkan peningkatan produksi minyak sawit mentah dari 28,5 juta

metrik ton pada tahun 2014. Gambar 1. menunjukkan negara – negara yang

memproduksi kelapa sawit di dunia. Dampak lain perkembangan pesat produksi minyak sawit mentah adalah limbah cair kelapa sawit, yang sering disebut sebagai *palm oil milleffluent* atau POME [1].

POME adalah limbah cair yang berminyak dan tidak beracun, hasil pengolahan minyak sawit. Meski tak beracun, limbah cair tersebut dapat menyebabkan bencana lingkungan karena dibuang di kolam terbuka dan melepaskan sejumlah besar gas metana dan gas berbahaya lainnya yang menyebabkan emisi gas rumah kaca. Tingginya kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sejumlah 50.000-70.000 mg/l dalam limbah cair kelapa sawit memberikan potensi untuk konversi listrik dengan menangkap gas metana yang dihasilkan melalui serangkaian tahapan proses pemurnian [1].

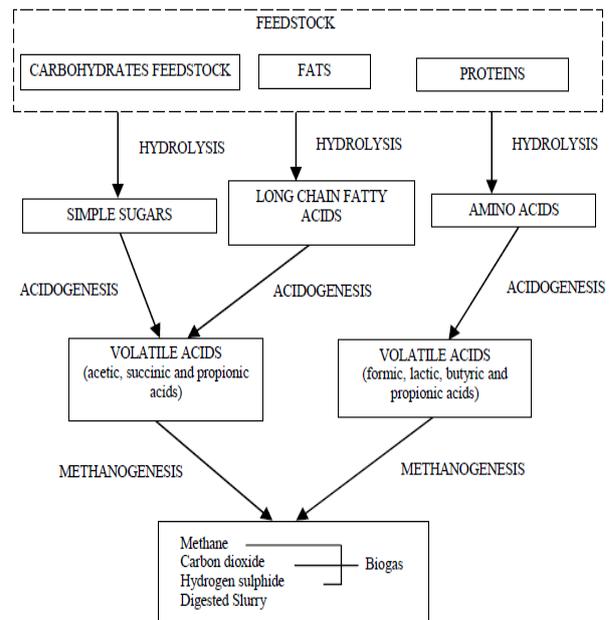
Dalam jurnal ini, POME akan dimodelkan sebagai substrat biogas kemudian kadar air biogas, daya listrik dan panas yang dihasilkan menggunakan mesin gas akan dianalisa terhadap variasi komposisi TSS POME. Simulasi ini menggunakan Aspen Plus V 8.6 sebagai alat bantu perhitungan.

1.1. Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah cair kelapa sawit berasal dari proses produksi minyak mentah kelapa sawit atau biasanya disebut *crude palm oil* (CPO). Kandungan yang terdapat didalamnya ialah 95 – 96 % air dan 4 – 5 % padatan total. Karbohidrat, fat, dan protein di dalam limbah cair kelapa sawit sebesar 29.55 %, 10.21 %, dan 12.75 %. Total padatan campuran berkisar 2 – 4 % [4]. Didalam limbah cair ini juga terdapat beberapa senyawa mineral makro dan mikro seperti potassium (K), sodium (Na), kalsium (Ca), iron (Fe), zinc (Zn), kromium (Cr), dan lainnya [5]. Maka, POME dapat dimanfaatkan sebagai substrat untuk produksi biogas karena memiliki nutrien untuk bakteri pada proses digestasi anaerobik.

1.2. Digestasi Anaerobik

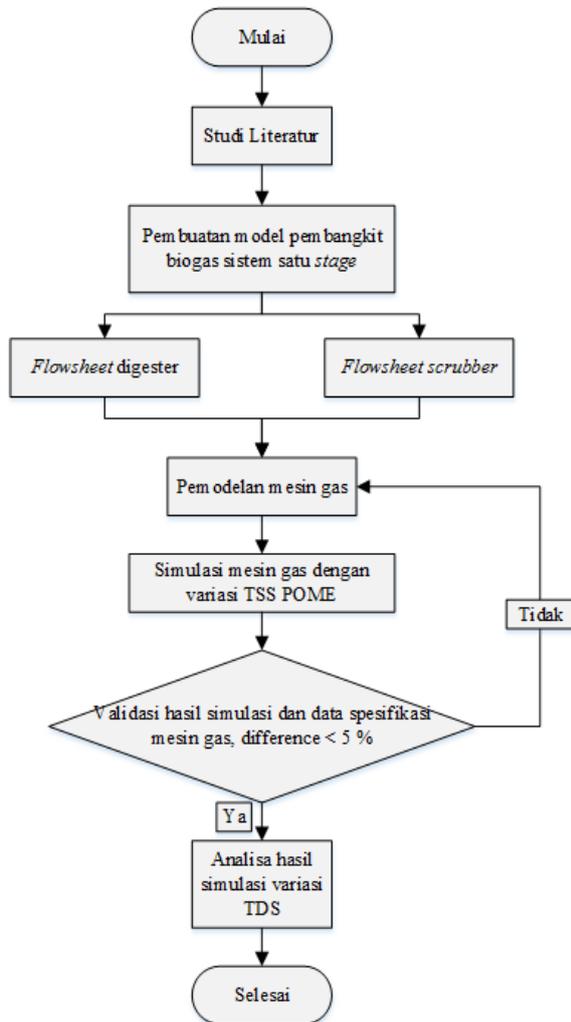
Digestasi anaerobik pada POME merupakan proses konversi senyawa organik menjadi biogas dengan kondisi tanpa oksigen melalui empat tahapan seperti yang terdapat pada Gambar 2. Empat tahapan tersebut ialah hidrolisis, acidogenesis, acetogenesis, dan metanogenesis. Umumnya POME didigestasi dengan menggunakan kolam anaerobik. Digestasi anaerobik dapat dilakukan pada kondisi mesophilik dan termophilik.



Gambar 2. Empat proses digestasi anaerobik [3]

2. METODOLOGI PENELITIAN

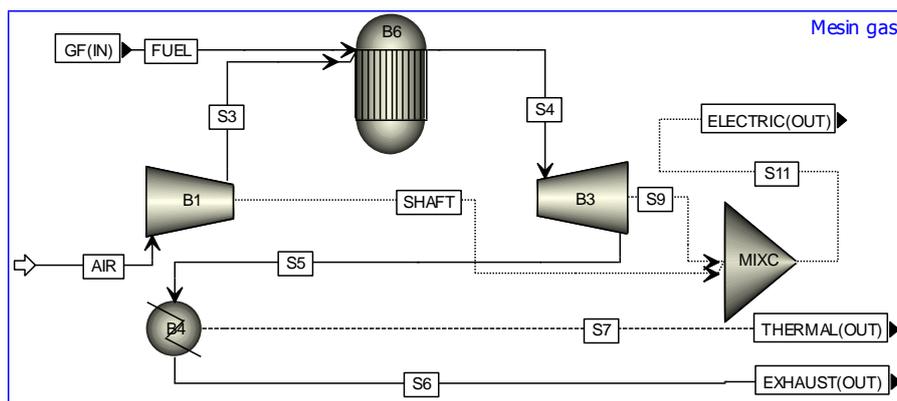
Dalam simulasi ini dibuat sebuah diagram alir penelitian untuk memberikan kemudahan dalam melakukan jalannya penelitian ini. Gambar 3. adalah diagram alir yang digunakan pada simulasi penelitian ini. POME dimodelkan sebagai air, dextrose, palmitic acid, dan protein [6]. Digester yang digunakan ialah CSTR dengan efisiensi pengurangan COD sebesar 71 %. Efisiensi pengurangan COD digunakan sebagai efisiensi pendegradasian masing – masing senyawa organik dalam pensimulasian [7]. Kondisi mesophilik dipilih dalam simulasi ini yaitu sebesar 37 °C.



Gambar 3. Diagram alir penelitian Variasi Komposisi TSS POME yang digunakan 5 - 9 % dengan komposisi air 90

%. Metode perhitungan biogas digunakan metode stoikiometri. Untuk pemurnian biogas, *high pressure water scrubbing* dipilih dengan kondisi operasi tekanan 9 bar dan jumlah *stage* sebanyak 4. *Flowsheet* mesin gas pada pembangkit biogas sistem satu *stage* dalam simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 4. *High pressure water scrubbing* merupakan salah satu teknik pemurnian biogas yang termudah dan termurah termasuk dalam menggunakan air bertekanan tinggi sebagai penyerap.

Metode *properties* dalam simulasi ini menggunakan PR (Peng-Robinson) karena persamaannya dapat menghasilkan prediksi yang lebih baik terhadap kesetimbangan sistem hidrokarbon [8]. Kondisi pengoperasian mesin gas sama seperti mesin pembakaran dalam [9]. *Feedstream* input sebesar $400 \text{ m}^3/\text{day}$ [10]. Mesin gas divalidasi dengan salah satu mesin Jenbacher type 3. Mesin gas dimodelkan dengan beberapa unit operasi seperti : expander, kompresor, *coolers*, dan RGibbs [9].



Gambar 4. Mesin gas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Validasi Mesin Gas

Mesin gas pada Aspen plus divalidasi dengan data mesin gas JMS 320 GS-B.LC [11]. Tabel 1. Menampilkan beberapa

parameter yang dilihat antara hasil simulasi

dengan data literatur. Data yang diambil seperti efisiensi kelistrikan, efisiensi panas yang

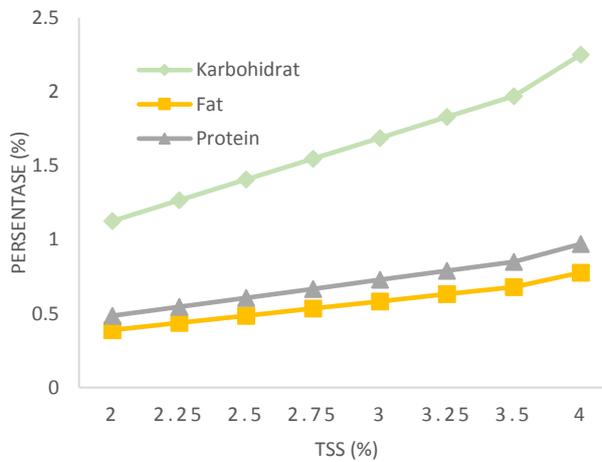
dimanfaatkan, dan temperatur gas buang dari hasil pembakaran mesingan.

Tabel 1. Perbedaan data simulasi

Data	Unit	JMS 320 GS-B.LC	Simulasi	Relative difference (%)
Electrical efficiency	%	40.9	42.5	4.03
Thermal efficiency	%	42.3	42.7	0.98
Exhaust gas temperature	°C	450.0	464.829	3.30

3.2. Komposisi Senyawa Organik POME

Komposisi senyawa organik POME mengalami perubahan seperti yang terlihat pada Gambar 5. berikut.



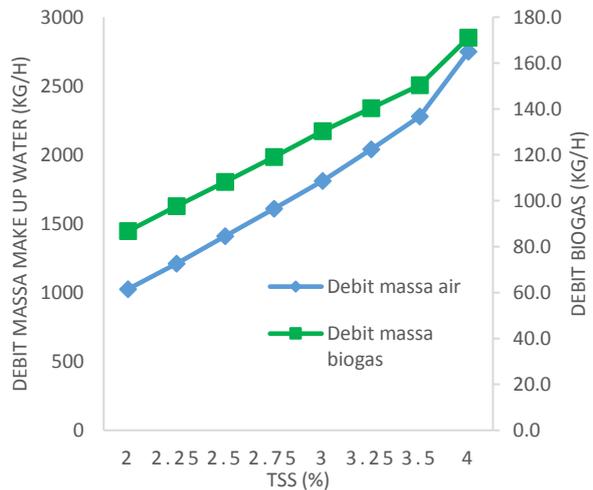
Gambar 5. Komposisi senyawa organik POME terhadap TSS

Komposisi karbohidrat menjadi menjadi senyawa organik POME dengan komposisi terbesar terhadap variasi TSS. Sesuai dengan Salihi, et al. [5], hal ini disebabkan oleh komposisi karbohidrat di dalam senyawa utama POME lebih besar dibandingkan fat dan protein yaitu sebesar 29.55 %.

3.3. Debit Massa Make up Water Scrubber

Kebutuhan *make up water* dalam proses pemurnian biogas, mengalami kenaikan maka semakin besar debit *make up water* yang dibutuhkan sebagai penyerap. Debit biogas terbesar berada pada 4 % TSS, dihasilkan sebesar 171.141 kg/h dan debit *make up water* yang dibutuhkan untuk pemurniannya sebesar 2750 kg/h.

terhadap debit biogas yang dihasilkan terhadap variasi TSS. Gambar 6. Menampilkan perubahan debit biogas setelah mengalami proses pemurnian dan debit *make up water* yang dibutuhkan untuk menghasilkan debit biogas dengan komposisi gas metana sebesar 95 – 98 % massa biogas.



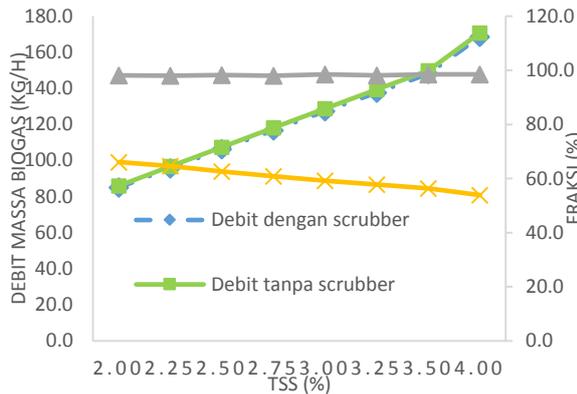
Gambar 6. Debit *make up water* dan debit biogas terhadap TSS

Menurut Bauer, et al. [13] debit *make up water* berpengaruh terhadap kelarutan senyawa yang terdapat dalam biogas. Semakin besar debit biogas terhadap TSS

3.4. Debit dan Fraksi Massa Gas Metana Biogas

Debit dan fraksi massa gas metana di dalam biogas yang dihasilkan melalui metode stoikiometri dapat dilihat didalam Gambar 7. Sesuai dengan Bauer, et al. [13], proses pemurnian menggunakan air sebagai

penyerap pada metode *high pressure water scrubbing* menyebabkan senyawa – senyawa di dalam biogas terlarut berdasarkan derajat kelarutannya. Debit dan fraksi massa gas metana terbesar setelah proses pemurnian yang ditampilkan dalam Gambar 7. Adalah sebesar 168.6 kg/h dan 98.5 %.

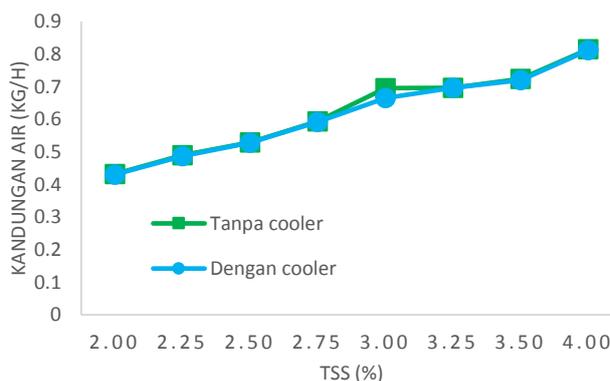


Gambar 7. Debit dan fraksi massa gas metana terhadap TSS

Debit gas metana setelah proses pemurnian tidak terlalu berbeda dengan debit gas metana sebelum dimurnikan seperti yang terlihat di dalam grafik diatas. Debit gas metana yang terlarut saat proses pemurnian sebesar 1 – 1.29 %.

3.5. Kandungan Air Biogas

Setelah proses pemurnian, biogas memiliki kandungan air. Gambar 8. adalah grafik debit kandungan air terhadap komposisi TSS pada saat sebelum dan sesudah dikeringkan menggunakan *cooler*.

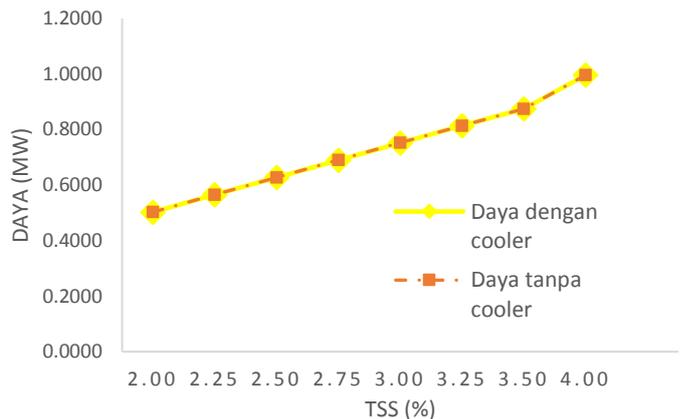


Gambar 8. Kandungan air terhadap komposisi TSS POME

Dari grafik diatas, terjadi kenaikan pada komposisi 3% TSS. Kandungan air di dalam biogas terbesar berada pada komposisi 4 % TSS yaitu sebesar 0.82 kg/h dan setelah didinginkan turun menjadi 0.8 kg/h. Penurunan kadar air setelah didinginkan sebesar 0.18 – 0.66 %.

3.6. Daya Listrik

Setelah gas dikeringkan oleh *COOLER*, gas dimanfaatkan sebagai bahan bakar di dalam mesin gas. Mesin gas sebagai validasi memiliki efisiensi kelistrikan sebesar 40.9 %. Gambar 9. menunjukkan daya yang dibangkitkan dari hasil pembakaran biogas terhadap komposisi TSS.



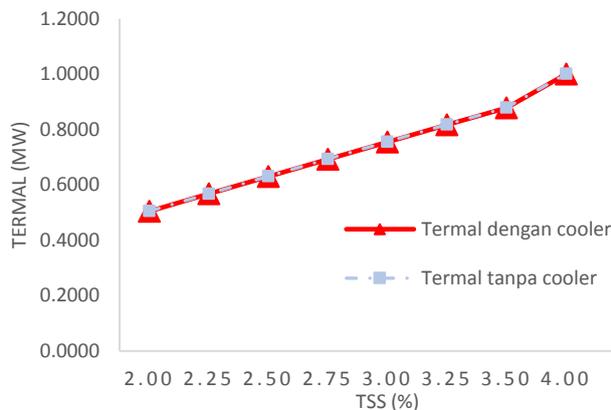
Gambar 9. Daya listrik terhadap komposisi TSS

Grafik daya terhadap komposisi TSS diatas selalu mengalami kenaikan. Daya listrik terbesar berada pada komposisi 4 % TSS yaitu sebesar 0.9961 MW menggunakan *cooler* dan 0.9963 MW tanpa *cooler*. Hal ini disebabkan karena debit biogas yang diproduksi semakin besar terhadap komposisi TSS di dalam POME yang ditingkatkan. Menurut Deng, et al. [14], semakin besar bahan bakar yang digunakan dapat dikatakan bahwa semakin besar konversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik.

3.7. Daya Panas

Dari proses pembakaran biogas di dalam mesin gas, terdapat panas yang keluar dari

mesin tersebut. Daya panas ini dapat dimanfaatkan untuk keperluan tambahan pembangkit. Gambar 10. menampilkan grafik produksi panas yang dihasilkan terhadap komposisi TSS.



Gambar 10. Daya termal terhadap komposisi TSS

Dari grafik termal atau daya panas yang dihasilkan diatas, daya termal yang dihasilkan akan semakin besar saat daya listrik yang dibangkitkan semakin besar juga. Menurut Ekwonu, et al. [8], Daya yang dikeluarkan, efisiensi, dan temperatur gas buang tergantung pada LHV dari bahan bakar. Jumlah metan yang dihasilkan akan semakin besar setiap TSS dinaikkan mengakibatkan daya panas yang dihasilkan dari pembakaran meningkat. Daya panas terbesar berada pada komposisi 4 % TSS yaitu sebesar 1.0001 MW menggunakan cooler dan 1.0016 MW tanpa cooler.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kandungan air mengalami kenaikan terhadap variasi komposisi TSS yang semakin besar. Debit massa air terbesar berada pada 4 % TSS yaitu sebesar 0.82 kg/h dan setelah didinginkan turun menjadi 0.8 kg/h. Daya terbesar yang dibangkitkan berada pada 4 % TSS yaitu sebesar 0.9961 MW menggunakan cooler dan 0.9963 MW tanpa cooler. Sementara daya panas yang dihasilkan oleh mesin gas, memiliki karakter yang sama dengan daya listrik yang dibangkitkan. Semakin besar daya listrik yang dibangkitkan maka semakin besar juga daya panas yang dihasilkan. Daya panas terbesar berada pada 4 % TSS juga yaitu sebesar 1.0001 MW

menggunakan cooler dan 1.0016 MW tanpa cooler.

REFERENSI

- Wu TY, Mohammad AW, Md. Jahim J, Anuar, N. 2007. Palm oil mill effluent (POME) treatment and bioresources recovery using ultrafiltration membrane: effect of pressure on membrane fouling. *Biochem Eng J*:35:309-17.
- Yeo A. 2010. *Palm oil: environmental curse or a blessing*.
- Krich K, Augenstein D, Batmale JP, Benemann J, Rutledge B, Salour D., 2005. Biomethane from Dairy Waste: A Sourcebook for the Production and Use of Renewable Natural Gas in California, USDA Rural Development Report.
- Borja R, Banks CJ. Anaerobic digestion of palm oil mill effluent using an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Biomass Bioenergy* 1994;6:381-9.
- Salihu, A., & Alam, M.Z. 2012. Palm oil mill effluent: a waste or a raw material? *Journal of Applied Sciences Research*, 8, 466-473.
- Maizirwan, Mel., 2015. Senyawa pada POME. Malaysia
- Nasution, A. S. B., 2016. *Optimasi Proses Produksi Biogas dari Palm Oil Mill Effluent (POME) untuk Sistem Pembangkit Listrik dan Panas Terbarukan di Pabrik CPO Muaro Jambi*. Semarang.
- Ekwonu, M. C., Perry S., Oyedoh, E. A., 2013. *Modelling and Simulation of Gas Engine Using Aspen HYSYS*. *Journal of Engineering Science and Technology Review* (3) 1-4. ISSN: 1791-2377 © 2011 Kavala Institute of Technology. All rights reserved.
- Megwai, G. U., 2014. *Process Simulations of Small Scale Biomass Power Plant*. MSc Thesis in Resource Recovery-Sustainable Engineering. University of Boras
- Lam, K. M., dan Lee. K. T., 2011. *Renewable and sustainable bionergies production from palm oil mill effluent (POME) : Win-win startegies toward better environmental*

protection. *Biotechnology Advances* 29
124-141.
Technical data JMS 320 GS-B.LC, Biogas.
2G Bio-Energi-technik AG
F. Bauer, C. Hulteberg, T. Persson, and
D. Tamm, 2013. "Biogas upgrading -
Review of commercial technologies,"
Svenskt Gastekniskt Center (SGC) AB,
Malmö, Sweden.
Deng, J., R.Z. Wang, and G.Y. Han,
2011. *A review of thermally activated
cooling technologies for combined*

cooling, heating and power systems.
*Progress in Energy and Combustion
Science*, **37**(2):p. 172-203.