



ISBN 978-602-99040-7-9

POTENSI POME UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DI KABUPATEN PASER PENAJAM UTARA

Muhammad Firdausi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri – ISTN

Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640

Phone: 0062-21-7270092, Fax: 0062-21-7866954

e-mail; mmfirdausi@istn.ac.id

ABSTRAK

Biogas terbentuk secara alami ketika Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit (POME) dijelaskan dalam kondisi anaerob. Tanpa kontrol, biogas adalah kontributor utama perubahan iklim global. Mengkonversi POME menjadi biogas untuk dibakar dapat menghasilkan energi sambil mengurangi dampak perubahan iklim dari proses produksi minyak kelapa sawit. Pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) mengambil keuntungan dari proses dekomposisi alami untuk menghasilkan listrik.

Untuk mengolah POME menjadi listrik terlebih dahulu perlu mengetahui potensi, karakteristik dan kontinuitas yang dimiliki. Penilaian potensi POME dilakukan di Paser North Penajam District, yang merupakan salah satu daerah dengan potensi POME yang sangat besar di Provinsi Kalimantan Timur.

Hasil pengukuran dan diskusi diketahui bahwa laju aliran POME 146.880 m³ / tahun. Dengan potensi ini dapat dirancang pembangkit yang menghasilkan 4,5 MWe, dan listrik yang dihasilkan sebesar 42.336,00 kWh / tahun. Perlu ditindaklanjuti dengan studi kelayakan teknis untuk mewujudkannya.

Kata kunci; PKS, CPO, POME, PLTBg, Biogas, Digester

ABSTRACT

Biogas is formed naturally when Palm Oil Mill Effluent (POME) is described in anaerobic conditions. Without control, biogas is a major contributor to global climate change. Convert POME into biogas to burn can generate energy while reducing the impact of climate change from the palm oil production process. Biogas power plants (PLTBg) take advantage of the natural decomposition process to generate electricity.

To process POME into electricity first need to know the potential, characteristics and continuity owned. POME's potential assessment is conducted in Paser North Penajam District, which is one of the areas with enormous POME potential of East Kalimantan Province.

The result of measurement and discussion known that POME flow rate 146.880 m³ / year. With this potential can be designed generating plant of 4.5 MWe, and electricity generated by 42,336,00 kWh/year. It needs to be followed up with a technical feasibility study to make it happen.

Key words; PKS, CPO, POME, PLTBg, Biogas, Digester

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara perkebunan kelapa sawit dan penghasil *crude palm oil* (CPO) terbesar di dunia. Berdasarkan data Dirjen Perkebunan per bulan September 2015, terdapat 702 pabrik kelapa sawit (PKS) dengan total kapasitas pengolahan tandan buah segar (TBS) mencapai 30.831,81 ton/jam yang tersebar di 18 provinsi. Luas total Lahan Perkebunan mencapai 6.290.731,85 ha yang dimiliki oleh 1.181 perusahaan perkebunan sawit dengan total produksi sebesar 11,7 juta ton/tahun.

Potensi sumber daya limbah cair pengolahan minyak sawit (*Palm Oil Mill Effluent, POME*) ini akan menimbulkan masalah pencemaran bagi lingkungan sekitarnya, terutama pelepasan gas CH₄ dan CO₂ hasil pencernaan konsorsium mikroba metanogenik yang dapat tumbuh subur di dalam POME. Gas CH₄ memiliki daya pemanasan global 21 (duapuluhsatu) kali lebih besar dari gas CO₂.

Sejalan dengan perubahan paradigma ekonomi berbasis fosil menjadi ekonomi berbasis energi terbarukan saat ini, perkembangan teknologi pengolahan limbah menjadi energi pun sangat pesat. Berbagai jenis teknologi pengolahan limbah

Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018

cair menjadi energi listrik pun telah tersedia dari skala rumah tangga hingga skala industri, di luar maupun di dalam negeri. Propinsi Kalimantan Timur merupakan salah satu propinsi yang memiliki potensi POME sangat besar. Untuk mengolah POME menjadi listrik terlebih dahulu perlu diketahui potensi dan kontinuitas yang dimiliki. Kajian potensi POME dilakukan di Kabupaten Paser Penajam Utara.

STUDI LITERATUR

Konversi POME menjadi Biogas

Biogas terbentuk secara alami ketika limbah cair kelapa sawit (POME) teruraikan pada kondisi anaerob. Tanpa pengendalian, biogas merupakan kontributor utama bagi perubahan iklim global. Biogas biasanya terdiri dari 50-70% metana (CH4), 25-45% karbon dioksida (CO2), dan sejumlah kecil gas lainnya. Jika pengelolaan POME tidak terkendali, metana di dalam biogas terlepas langsung ke atmosfer. Sebagai gas rumah kaca, metana mempunyai efek 21 kali lebih besar dibanding karbon dioksida.

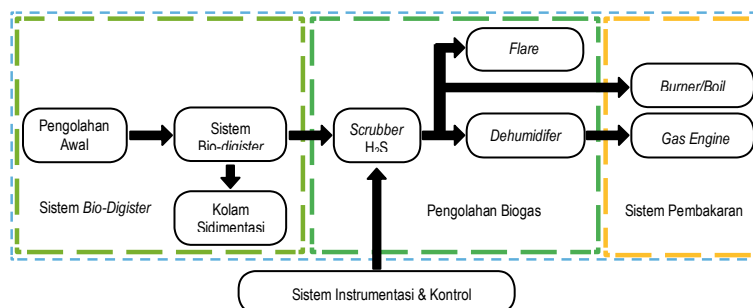
Pembangkit listrik tenaga biogas mengambil manfaat dari proses penguraian alami untuk membangkitkan listrik. Limbah cair organik yang dihasilkan selama produksi kelapa sawit merupakan sumber energi besar yang belum banyak dimanfaatkan di Indonesia. Mengubah POME menjadi biogas untuk dibakar dapat menghasilkan energi sekaligus mengurangi dampak perubahan iklim dari proses produksi minyak kelapa sawit. Tabel-1 menunjukkan potensi daya dari konversi POME menjadi biogas yang dihasilkan oleh PKS, dengan asumsi tiap ton TBS menghasilkan 0,73 m3 limbah cair, PKS beroperasi 20 jam per hari, konsentrasi COD 55.000 mg/liter.

Tabel-1. Potensi biogas dari POME

| Kapasitas PKS (ton TBS/jam) | POME yg dihasilkan | | Potensi Daya (MW) |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| | (m ³ /jam) | (m ³ /hari) | |
| 30 | 21 | 400 | 1,1 |
| 45 | 31,5 | 600 | 1.6 |
| 60 | 42 | 800 | 2,1 |
| 90 | 63 | 1.200 | 3,2 |
| Total Potensi di Indonesia | | | |
| 34.280 | 23.996 | 479.920 | 1.280 |

Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Bagian utama dari suatu fasilitas komersial konversi POME menjadi biogas ditunjukkan pada gambar-1.



Gambar-1. Proses konversi POME menjadi biogas

Pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) memberikan serangkaian opsi pemanfaatan untuk pabrik kelapa sawit. Pengelola pabrik dapat menggunakan biogas untuk;

- Bahan bakar burner maupun boiler sehingga mengganti sebagian pengguna cangkang dan serat.
- Menghasilkan listrik untuk keperluan pabrik sehingga mengurangi biaya bahan bakar.

- Menghasilkan listrik untuk dijual ke PLN sehingga menambah pendapatan.
- Kebutuhan energi di pabrik kelapa sawit dan potensi keuntungan menjadi dasar pertimbangan untuk memilih opsi pemanfaatan biogas. Tabel-2 menguraikan pemanfaatan biogas secara umum.

Tabel-2. Pemanfaatan biogas

| Teknologi | Biaya | Efisiensi | Kerumitan | Kendala |
|------------------------|---------------|-----------|-----------|------------|
| Pembakaran | | | | |
| Burner | Rendah | Tinggi | Rendah | Tinggi |
| Boiler | Rendah | Tinggi | Rendah | Tinggi |
| Listrik/lainnya | | | | |
| Generator | Tinggi | Sedang | Sedang | Tinggi |
| Turbin | Tinggi | Sedang | Tinggi | Sedang |
| Pemurnian Biogas | Sangat tinggi | Tinggi | Tinggi | Bervariasi |

Potensi Sawit di Paser Penajam Utara



Gambar-2. Kabupaten Penajam Paser Utara

Kabupaten Penajam Paser Utara (PPU) terletak di Propinsi Kalimantan Timur (gambar-2) terdiri dari 4 (empat) kecamatan, 30 desa dan 24 kelurahan, yaitu; (i) Kecamatan Babulu terdiri dari 12 desa, (ii) Kecamatan Waru terdiri dari 3 desa dan 1 kelurahan, (iii) Kecamatan Penajam terdiri dari 4 desa dan 19 kelurahan, dan (vi) Kecamatan Sepaku terdiri dari 11 desa dan 4 kelurahan.

Kecamatan Penajam merupakan kecamatan terluas yang ada di Kabupaten PPU sebesar 1.207,37 km². Berdasarkan data dari BPS Kabupaten Penajam Paser Utara dalam buku *PPU dalam Angka 2015* diketahui bahwa tanaman kelapa sawit merupakan tanaman terbanyak seluas 48.861,10 ha, terdiri dari; luas areal kelapa sawit Perkebunan Rakyat sebesar 17.007,00 ha dengan produksi sebesar 114.345,25 ton per tahun; dan luas areal kelapa sawit Perkebunan Besar Swasta (PBS) sebesar 31.854,25 ha dengan produksi sebesar 348.270,42 ton per tahun.

Berdasarkan data yang diperoleh dari Dirjen EBTKE hasil pendataan yang dilakukan oleh Dirjen Perkebunan mengenai pabrik kelapa sawit Indonesia 2015, terdapat sebanyak 6 (enam) perusahaan kelapa sawit (PKS) di Kabupaten PPU. Tabel-3 menunjukkan daftar perusahaan PKS dan kapasitas produksinya.

Tabel-3. Pabrik PKS di Kabupaten PPU

| Perusahaan Kelapa Sawit | Kec. | Luas Keb (ha) | Kap. (ton) | Prod. (ton/jam) |
|----------------------------|--------|---------------|------------|-----------------|
| PT. Waru Kaltim Plantation | Waru | 14.364 | 60 | 60 |
| PT. Sumber Bunga Sawit Les | Babulu | 200 | 60 | 60 |

| | | | | |
|-----------------------------|---------|---|----|----|
| PT. Agroindomas | Sepaku | - | 45 | 60 |
| PT. Kebun Mandiri Sejahtera | Penajam | - | 45 | 45 |
| PT. Sukses Tani Subur | Babulu | - | 45 | 45 |
| PT. Mega Hijau Lestari | Penajam | - | 45 | 45 |

Sumber; Dirjen Perkebunan 2015

Pada kajian ini studi dilakukan di PT. Sumber Bunga Sawit Lestari (SBSL). Perusahaan bergerak dibidang pengolahan CPO. Pabrik dibangun di atas lahan seluas 33,6 hektare. PT. SBSL memiliki kebun sendiri seluas 200 ha dan di sekitar pabriknya di kelilingi oleh perkebunan milik warga, yang hasil panennya di jual ke PT. SBSL, sehingga produksi CPO dan *kernel* setiap bulannya stabil.

Produksi dan Karakteristik POME

Pada saat survey dilaksanakan, operasi produksi PKS berlangsung selama 16 jam per hari. Tabel-4 memperlihatkan data operasi PT. SBSL.

Tabel-4. Produksi PKS PT. SBSL

| 2017 | RENDEMENT (%) | | PRODUKSI (ton/hari) | | T B S (ton/jam) | T B S (ton/hari) | Limbah Cair (ton/hari) |
|-------|---------------|------------|---------------------|------------|-----------------|------------------|------------------------|
| | CPO | Kernel Oil | CPO | Kernel Oil | Olah | | |
| April | 23 | 3 | 331,2 | 43,2 | 90 | 1.440 | 828 |

Setiap 1 ton CPO diperoleh limbah cair sebanyak 2,5 ton atau setara dengan 2,5 m³. Kondisi operasi produksi di PT. SBSL ini menghasilkan limbah cair POME sebesar 51,8 ton/jam limbah cair atau setara dengan 828 m³/hari. Untuk menangani limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi, PT SBSL memiliki 9 kolam pengolahan limbah cair POME. Pemanfaatan POME selama ini hanya untuk *land application*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Karakteristik POME

Uji karakteristik POME di PT SBSL dilakukan di 3 kolam, yaitu kolam 1, 2 dan 3. Masing-masing kolam dilakukan pengukuran sampel sebanyak 10 kali. Tabel; 5, 6 dan 7 memperlihatkan hasil pengujian karakteristik POME tersebut. Tabel-8 menunjuk kan karakteristik fisik biogas secara umum.

Tabel-5. Karakteristik POME pada kolam 1-2-3

| No | Parameter | Satuan | Rata-rata | | |
|----|------------|--------|-----------|---------|---------|
| | | | Kolam 1 | Kolam 2 | Kolam 3 |
| 1 | COD | mg/l | 33.691 | 32.367 | 2.619 |
| 2 | BOD | mg/l | 14.294 | 12.658 | 800 |
| 3 | TDS | mg/l | 6.946 | 6.218 | 624 |
| 4 | O & G | mg/l | 526 | 803 | 8,2 |
| 5 | pH | - | 4,5 | 4,37 | 6,84 |
| 6 | Temperatur | °C | 58,2 | 52,65 | 37,9 |

Tabel-6. Komposisi POME

| No | Parameter | Satuan | Sample Rata ² |
|----|----------------|--------|--------------------------|
| 1 | COD | mg/l | 40.759,1 |
| 2 | BOD | mg/l | 28.997,5 |
| 3 | TDS | mg/l | 8.064,5 |
| 4 | Minyak & Lemak | mg/l | 541,8 |
| 5 | pH | | 5,9 |
| 6 | Temperatur | °C | 47,1 |

Table-7. Komposisi Biogas dari POME

| No. | Komponen | (%) |
|-------|-------------------------------------|-------|
| 1 | Metana (CH ₄) | 55,00 |
| 2 | Karbon dioksida (CO ₂) | 39,72 |
| 3 | Hidrogen Sulfida (H ₂ S) | 0,16 |
| 4 | Nitrogen (N ₂) | 1,10 |
| 5 | Hidrogen (H ₂) | 1,00 |
| 6 | Karbon Monoksida (CO) | 0,62 |
| 7 | Air (H ₂ O) | 2,40 |
| Total | | 100 % |

Table-8. Properti Fisik Biogas

| No | Properti | Nilai |
|----|-------------------------------|--------|
| 1 | Berat molekul | 26,75 |
| 2 | Densitas (kg/m ³) | 1,1 |
| 3 | Kapasitas panas (kJ/kg°C) | 1.383 |
| 4 | Viscositas (cP) | 0,0129 |
| 5 | Entalpi (kJ/kg) | -7.500 |
| 6 | LHV (kcal/m ³) | 4.389 |

Sumber : Aspen HYSYS

Perencanaan Proses untuk PLTBg

Terdapat beberapa hal penting yang menjadi dasar pertimbangan untuk perancangan proses produksi pada PLTBg, sebagaimana dipaparkan berikut ini;

a. Sumber bahan baku umpan biodigester

Data sumber bahan baku POME seperti yang disajikan pada tabel-9

Tabel-9. Produksi POME untuk kebutuhan umpan

| Parameter | Nilai | Satuan |
|----------------|-------|------------|
| Waktu Produksi | 16 | jam/hari |
| | 360 | hari/tahun |
| | 5.760 | jam/tahun |

| Parameter | Nilai | Satuan |
|------------------------|---------|----------------|
| Kapasitas Olah | 518.4 | ton TBS/tahun |
| Rasio Limbah Cair (PO) | 0.8 | ton POME/ton T |
| Produksi POME | 414.720 | ton TBS/tahun |
| COD | >32.0 | mg/L |
| Biogas/COD | 0.35 | (liter/gram) |

Tabel-10. Rencana operasi PLTBg

| Parameter | Nilai | Satuan |
|-----------------------|-----------|-----------------------|
| Waktu Produksi PL TBg | 24 | jam/hari |
| | 360 | hari/tahun |
| Kebutuhan Biogas | 400 | Nm ³ |
| | 9.600 | Nm ³ |
| | 3.456.000 | Nm ³ |
| Kebutuhan POME | 10 | m ³ /jam |
| | 240 | m ³ /hari |
| | 86.400 | m ³ /tahun |

Rencana operasi yang akan dijalankan ditunjukkan pada tabel-10.

b. Dasar Desain Proses

Kinerja PLTBg Rancangan adalah sebagai berikut :

- Kapasitas produksi listrik 1 MWe.
- Kapasitas produksi biogas 570 Nm³/jam.
- Rasio produksi Metana terhadap COD 0,35 (Nm³/kg COD removal)
- Konsentrasi metana yang menjadi umpan gas engine 55 % CH₄.
- Kandungan H₂S pada biogas yang masuk gas engine maksimum 200 ppm.
- Ambang Batas Maksimum kandungan H₂S 3.000 ppm.
- Efisiensi penurunan kadar COD pada cairan keluaran reaktor 80 %.
- Efisiensi gas engine 35%.

Produk Biogas Rancangan berdasarkan data berikut;

- COD desain yang digunakan minimal 32.000 mg/l.
- Laju alir POME yang diproses 17 m³/jam (maksimum 15 m³/jam).
- Waktu operasi kerja pabrik biogas 8.640 jam (360 hari, 24 jam).
- *Organic Loading rate biodigester* 0,8 kg COD /m³/hari
- Nilai energi metana 21 MJ/Nm³

Laju Alir Biogas

- Basis Desain Laju alir volumetrik : 570 Nm /hr

Kondisi Operasi

- Temperatur operasi : 35-40 °C
- Tekanan Operasi : 5 mmbar (101,8 kPa)

c. Kapasitas Pembangkit Listrik Rancangan

Spesifikasi pembangkit listrik tenaga biogas rancangan dapat dilihat pada tabel-11.

Table-11. Spesifikasi Gas Engine

| No | Parameter | Keterangan |
|----|---------------------------|--------------------|
| 1 | Power Electric output | 1,2 MWe (2 x 600 k |
| 2 | Alternator Voltage Output | 400 V (3 pass) |

| No | Parameter | Keterangan |
|----|-------------------|-----------------|
| 3 | PLN Voltage Grid | 20 kVA |
| 4 | Kecepatan | 1500 rpm (50Hz) |
| 5 | Efisiensi Listrik | ≥39 % |
| 6 | Faktor Kapasitas | 80% |

Kapasitas PLTBg di PT. SBSL

Dasar perhitungan penentuan kapasitas PLTBg mengacu pada perhitungan kandungan energi kimia biogas POME, konsumsi bahan bakar biogas untuk *genset gas engine* serta perhitungan kapasitas produksi biogas yang dihasilkan digester dari bahan baku POME.

a. Perhitungan Kebutuhan Bahan Baku Limbah POME

Perhitungan secara umum untuk penentuan volume limbah POME yang dibutuhkan untuk PLTBg ini dapat disampaikan sebagai berikut;

- 1 kg COD limbah POME di PT. SBSL dapat menyumbang 650 liter biogas dengan waktu tinggal (HRT) 15 hari.
- Berdasarkan nilai terukur karakteristik fisik dan kimia 1 liter POME kolam 1 di PT. SBSL memiliki densitas, $\rho = 890 \text{ kg/m}^3$ dan COD 32.000 mg/liter akan menghasilkan 23,4 liter biogas atau setara dengan $0,023 \text{ m}^3$.
- Maka 1 liter POME di PT. SBSL dapat menghasilkan listrik sebesar 0,06 kWh
- Sehingga 1 kWh listrik membutuhkan volume limbah POME sebesar; $1 \text{ liter} / 0,06 \text{ kWh} \times 1 \text{ kWh} = 17 \text{ liter}$
- atau 1 MWh membutuhkan volume limbah POME di PT. SBSL sebesar 17.000 liter atau setara 17 m^3
- Maka untuk memenuhi beban daya listrik 1 MWe selama 24 jam dibutuhkan POME sebesar 410 m^3 .

b. Perhitungan Volume Kebutuhan Biogas Harian Untuk Pembangkit Listrik 1 MW

Berdasarkan data hasil perhitungan-perhitungan diatas maka dapat ditentukan volume umpan limbah POME setiap hari sebagai berikut;

- Nilai kalor biogas ($< 55\% \text{ CH}_4$) = 21 MJ/m^3 .
- $1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 3.600 \text{ s} = 3.600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$
- Jika η pembangkit listrik 35%;
- $1 \text{ kWh listrik} = (100/35) \times (3,6/21) = 0,4 \text{ m}^3 \text{ Biogas}$
- Sehingga untuk memenuhi beban daya listrik 1 MWe selama 24 jam dibutuhkan 9.600 m^3 biogas

c. Perhitungan Volume Digester

Untuk menghasilkan biogas dalam jumlah tersebut, volume biodigester yang dibutuhkan dapat dihitung seperti berikut ini;

$$V_{\text{digester}} = V_{\text{biogas}} \times (1/\text{sgp});$$

dimana;

$$\text{sgp} (\text{specific gas production}) = 0.8 [\text{m}^3/(\text{m}^3 \text{ plant} \times \text{hari})]$$

sehingga;

$$V_{\text{digester}} = 9.600 (\text{m}^3/\text{hari}) \times (1/0,8) (\text{m}^3/\text{m}^3 \text{ plant} \times \text{hari}) = 12.000 \text{ m}^3.$$

Dari perhitungan ini diketahui bahwa untuk pembangkitan listrik 1 MW dengan *gas engine* akan membutuhkan volume digester minimal sebesar 12.000 m^3 . Untuk menjaga sensitifitas karakter bahan baku dan faktor cuaca, perancangan digester biogas di bulatkan menjadi 15.000 m^3 .

Data digester rancangan dapat dilihat pada tabel-12. Sedangkan potensi listrik yang dapat dihasilkan dari PLTBg disajikan pada tabel-13.

Tabel-12. Data digester

| Parameter | Nilai | Satuan |
|-----------------------|--------|--------------|
| Efisiensi COD-removal | 85 | % |
| Volume Biodigester | 15.000 | m^3 |
| Rasio methane /COD | 0,35 | - |

| Parameter | Nilai | Satuan |
|--|-------|-----------------|
| Produksi Biogas | 400 | Nm ³ |
| Konsentrasi Methana (CH ₄) | 55 | % |

Tabel-13. Potensi listrik yang dapat diproduksi

| | Nilai | Satuan |
|--------------------------|------------|--------------------|
| Nilai bakar metana | 21 | MJ/Nm ³ |
| Efisiensi Genset | 35 | % |
| Potensi Produksi Listrik | 42.336.000 | kWh/tahun |
| Potensi Kapasitas | 4,5 | MWe |

KESIMPULAN

Dari data operasi PKS PT SBSL menunjukkan bahwa kapasitas olah sebesar 518.400 ton TBS/tahun, produksi POME sebesar 414.720 ton /tahun dan rasio limbah cair adalah 0,8 ton POME/tonTBS. Hasil pengukuran dan pembahasan diketahui bahwa dengan potensi POME tersebut diperoleh;

- Laju aliran POME 146.880 m³/tahun
- Nilai bakar metana 21 MJ/Nm³
- Efisiensi gas engine 35%
- Potensi kapasitas pembangkit 4,5 MW
- Potensi produksi Listrik 42.336,00 kWh/tahun

Dengan memperhatikan kontunuitas pasokan POME, kajian awal tersebut sangat layak untuk ditindak lanjuti untuk dikembangkan membangun PLTBg melalui studi kelayakan teknis

Jika membandingkan rencana kapasitas pembangkit (tabel-11) dengan hasil hitungan teoritik (tabel-13), maka kapasitas POME untuk menghasilkan biogas masih berlebih sehingga terdapat kemungkinan untuk ekspansi kapasitas pembangkit di kemudian hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BPS Kabupaten PPU; *Penajam Paser Utara dalam Angka 2015*, 2016.
- [2]. David Fulford, *Running A Biogas Programme: A Handbook*, London, 2001.
- [3]. GIZ GmbH, Program Energi Indonesia/ ASEAN; *Pedoman Energi Terbarukan tentang Pengembangan Proyek Tenaga Listrik Biomassa dan Biogas di Indonesia*. Jakarta, 2015.
- [4]. Filino Harahap, dkk.; *Teknologi Gas Bio*, Pusat Teknologi Pembangunan ITB, 1978.
- [5]. Ibrahim, Reksowardojo Iman, Soerawidjaja; *A Preliminary Study of the Heat and Power Output from Biogas Obtained by the Symposium And Exhibition Indonesia-Japan*, Jakarta, 2008.
- [6]. Ibrahim S, Andrias WS, Tatang HS, Tirto PB, Iman KR.; *Produksi Biogas Dari Bungkil Jarak Pagar (Jatropha Curcas)*, Konferensi Nasional Jarak Pagar, Bogor, 2007.
- [7]. Marsudi, Djiteng; *Pembangkitan Energi Listrik*, Erlangga, Jakarta, 2005.
- [8]. Zuhali; *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1995.
- [9]. Saadat, Hadi; *Power System Analysis*, McGraw-Hill Companies, Singapore, 1999.
- [10]. Stevenson Jr, W. D.; *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi ke-4, PT. Gelora Aksara Pratama, Jakarta, 1994.
- [11]. PLN (Persero), PT.; *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL)*, Jakarta, 2010.
- [12]. Pusklat Ketenagalistrikan, EBTKE – KemenESDM; *Modul Evaluasi Teknis – PLTBg POME*, Jakarta, 2015.
- [13]. Winrock International; *Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia*, Jakarta, 2015.
- [14]. <https://www.ebtke.go.id>