

Energi Listrik Terbarukan dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Purnama Irwan

Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin
Politeknik Kampar
Jl. Tengku Muhammad KM 2 Bangkinang INDONESIA
irwan@poltek-kampar.ac.id

Intisari—Penelitian ini dilakukan dengan cara studi literatur dengan mengambil contoh di Provinsi Riau. Dari penelitian ini akan diketahui perkiraan potensi energi listrik terbarukan yang dapat dihasilkan oleh limbah-limbah cair pabrik kelapa sawit. Pengumpulan data dilakukan dari berbagai sumber yang berhubungan dengan penelitian ini. Data-data tersebut diolah untuk dianalisa sehingga dapat ditentukan potensi energi listrik terbarukan yang dihasilkan oleh limbah cair tersebut. Adapun perhitungan yang dilakukan adalah menentukan jumlah bahan baku TBS yang diolah oleh PKS-PKS di Riau, menentukan jumlah limbah cair yang di produksi, menentukan nilai COD, menentukan jumlah metana yang diproduksi, dan terakhir menentukan energi listrik yang dapat dihasilkan dari limbah cair PKS-PKS tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam merancang pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) di Provinsi Riau, sehingga kekurangan energi listrik di Riau dapat teratasi terutama untuk daerah-daerah terpencil yang ada disekitar PKS dan jauh dari akses listrik PLN. Selain itu penelitian ini juga dapat membantu PKS-PKS dalam mengolah limbah cair mereka menjadi lebih bermanfaat serta ramah lingkungan.

Kata kunci : Energi listrik terbarukan, limbah cair pabrik kelapa sawit, biogas, POME

Abstract— This research is done with literature study by taking samples in Riau Province. From this research will be known the potential renewable energy that can be generated by palm oil mill effluent. Data collection was conducted from various sources that related with this research. These data are processed to be analyzed to determine the potential of renewable electric energy generated by palm oil mill effluent. The calculation is to determine the amount of TBS raw material processed by PKS in Riau, determine the amount of POME in production, determine the value of COD, determine the amount of methane produced, and finally determine the electrical energy that can be produced from POME. The results of this study are expected to be a reference in designing biogas power plant (PLTBg) in Riau Province, so that the lack of electrical energy in Riau can be overcome, especially for remote areas around PKS and far from access PLN electricity. In addition, this research can also assist PKS in treating their POME to be more useful and environmentally friendly.

Keywords— Renewable electrical energy, palm oil mill effluent, biogas

I. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan yang mempunyai peran cukup penting dalam kegiatan perekonomian di Indonesia. Dimana Indonesia merupakan produsen terbesar minyak kelapa sawit di dunia. Pada tahun 2016 produksi diprediksi minyak kelapa sawit Indonesia mencapai 31,40 juta ton dengan Provinsi Riau sebagai penyumbang terbesar yaitu sekitar 8,09 juta ton (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2017). Sementara itu, luas lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2016 sudah mencapai 11,12 juta hektar yang tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia (Gambar 1).



Sumber : (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2017)

Gambar 1. Perkembangan Luas Areal dan Produksi Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia, 2011-2016

Produksi minyak kelapa sawit atau CPO (*Crude Palm Oil*) ditunjang dengan keberadaan pabrik-pabrik kelapa sawit (PKS) di sekitar area perkebunan kelapa sawit tersebut. Pada tahun 2014 tercatat sekitar 608 PKS beroperasi di Indonesia, dengan total kapasitas produksi mencapai 34.280 ton tbs/jam (PTPN V, 2014). PKS-PKS tersebut dikelola oleh negara dan swasta. Tabel 1 memperlihatkan sebaran pabrik kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2014.

Tabel 1. Sebaran Pabrik Kelapa Sawit di Indonesia Tahun 2014

No	Provinsi	Jumlah PKS	Kapasitas Produksi (ton tbs/jam)
1	NAD	25	980
2	SUMUT	92	3.815
3	SUMBAR	26	1.645
4	RIAU	140	6.660
5	KEPRI	1	40
6	JAMBI	42	2.245
7	SUMSEL	58	3.555
8	BABEL	16	1.235
9	BENGKULU	19	990
10	LAMPUNG	10	375
11	JABAR	1	30
12	BANTEN	1	60
13	KALBAR	65	5.475
14	KALTENG	43	3.100
15	KALSEL	15	770
16	KALTIM	29	1.545
17	SULTENG	7	590
18	SESEL	2	150
19	SULBAR	6	260
20	SULGARA	3	260
21	PAPUA	3	140
22	PAPUA BARAT	4	360
JUMLAH		608	34.280

Sumber : (PTPN V, 2014)

Dengan banyaknya jumlah PKS tersebar di Indonesia tentunya akan meningkatkan perekonomian daerah maupun negara. Namun di sisi lain banyaknya jumlah PKS tersebut juga akan menimbulkan masalah yang baru, terutama masalah lingkungan. Setiap PKS akan menghasilkan limbah yang tentunya tidak dapat dibuang begitu saja ke lingkungan sekitar. Limbah tersebut berupa limbah padat dan limbah cair. Untuk limbah padat, PKS telah mengolahnya sebagai bahan bakar pembangkit listrik biomassa. Sementara untuk limbah cair atau *palm oil mill effluent* (POME), kebanyakan PKS belum mengolah jenis limbah ini. Limbah cair atau POME pabrik kelapa sawit tersebut ditampung begitu saja di kolam-kolam pembuangan dalam waktu yang cukup lama hingga dapat di buang ke lingkungan. Selain itu limbah-limbah cair tersebut dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca.

Pada dasarnya, limbah cair pabrik kelapa sawit yang semula tidak berguna dapat diolah menjadi sesuatu yang lebih berguna. Limbah cair pabrik kelapa sawit ini dapat diproses lebih lanjut sehingga menghasilkan biogas yang bisa digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga biogas.

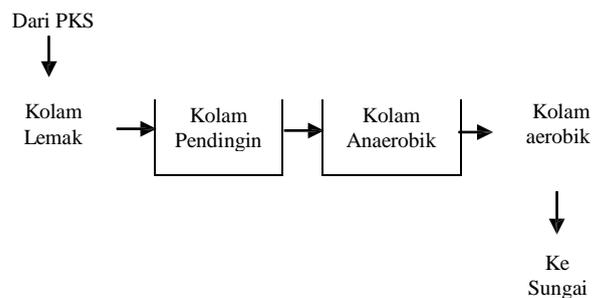
POME atau limbah cair pabrik kelapa sawit dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi minyak kelapa sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO). Pada

saat pengolahan TBS menjadi CPO ini terjadi proses ekstrasi minyak, pencucian dan pembersihan di pabrik. Dalam proses ekstrasi minyak kelapa sawit, terdapat 3 proses utama yang menghasilkan POME:

1. Proses sterilisasi tandan buah segar.
2. Proses penjernihan minyak sawit mentah atau *crude palm oil* (CPO), yaitu pemerasan, pemisahan, dan penjernihan.
3. Pemerasan tandan kosong.

Rata-rata pabrik kelapa sawit menghasilkan 0,7-1 m³ POME untuk setiap ton tandan buah segar (TBS) yang diolah. Karakteristik POME yang baru dihasilkan dari proses pengolahan TBS ini adalah :

- Suhu POME panas berkisar antara antara 60°C sampai 80°C
- Bersifat asam dengan pH antara 3,3 sampai 4,6
- Kental
- Berwarna kecoklatan dengan kandungan padatan
- Mengandung minyak dan lemak
- Mengandung *Chemical oxygen demand* (COD) dan *biological oxygen demand* (BOD) yang tinggi (Winrock International, 2015).



Gambar 2. Diagram pengolahan POME di PKS

Pada umumnya pabrik-pabrik kelapa sawit menggunakan sistem kolam terbuka untuk mengolah POME sebelum dibuang ke sungai atau lingkungan (Gambar 2). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan biaya yang lebih ekonomis dan mudah dalam pengoperasian. Limbah cair (POME) dialirkan ke dalam kolam-kolam yang terdiri dari kolam lemak (*fat pit*), kolam pendinginan (*cooling pond*), kolam anaerobik (*anaerobic pond*), dan kolam aerobik (*aerobic pond*).

- Kolam lemak (*fat pit*) digunakan untuk mengumpulkan sisa-sisa minyak dan lemak yang masih ada pada POME. Minyak dan lemak yang berhasil dikumpulkan dialirkan kembali ke unit pengolahan CPO.
- Kolam pendingin (*cooling pond*) berfungsi untuk menurunkan suhu POME hingga mencapai kondisi yang optimal untuk proses penguraian zat organik pada kolam anaerobik.

- Kolam anaerobik (*anaerobic pond*) berfungsi melakukan proses penguraian zat organik yang nantinya bisa diproses menjadi biogas.
- Kolam aerobik (*aerobic pond*) berfungsi sebagai pengendapan sekaligus sebagai pendinginan POME dengan udara atau oksigen sehingga dapat dialirkan ke sungai atau dibuang ke lingkungan.

Setelah pengolahan POME di keempat kolam selesai dan memenuhi baku mutu maka limbah cair dapat dialirkan ke sungai/lingkungan untuk dimanfaatkan sebagai pupuk. Proses pengolahan POME ini walaupun ekonomis namun membutuhkan waktu yang cukup lama. Selain itu gas metana yang terjadi akibat proses penguraian zat organik pada kolam anaerobik langsung terlepas ke atmosfer.

Pelepasan gas metana ke atmosfer dari sistem pengolahan POME menyumbang hingga 70% dari total emisi gas rumah kaca dalam keseluruhan proses produksi CPO (Winrock International, 2015).

Apabila POME ini dimanfaatkan maka ia akan menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar generator biogas untuk menghasilkan listrik. Biogas terbentuk ketika mikroorganisme, khususnya bakteri, menurunkan kadar zat organik pada kondisi anaerob (tanpa oksigen). Biogas terdiri dari 50% - 75% metana (CH₄), 25% - 45% karbon dioksida (CO₂), dan sejumlah kecil gas lainnya. Tabel 2. menunjukkan komposisi biogas.

Tabel 2. Komposisi Biogas

Unsur	Rumus	Konsentrasi (% Volume)
Metana	CH ₄	50-75
Karbon dioksida	CO ₂	25-45
Uap air	H ₂ O	2-7
Oksigen	O ₂	< 2
Nitrogen	N ₂	< 2
Hidrogen Sulfida	H ₂ S	< 2
Amonia	NH ₃	< 1
Hidrogen	H ₂	< 1

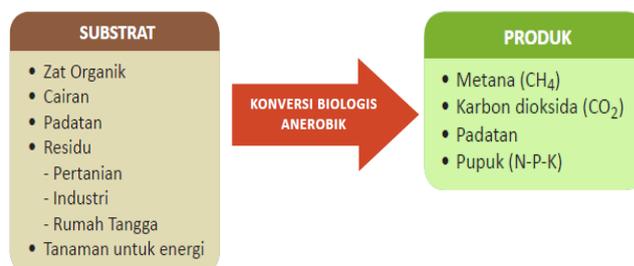
Sumber: (Winrock International, 2015)

Biogas sekitar 20% lebih ringan dari udara dan memiliki temperatur nyala antara 650°C sampai 750°C. Biogas merupakan gas yang tidak berbau dan tidak berwarna yang terbakar dengan bara biru yang serupa dengan *liquefied petroleum gas* (LPG). Biogas terbakar dengan efisiensi 60% dalam tungku biogas konvensional, ia memiliki nilai kalori 20 MJ/Nm³. Volume biogas biasanya dinyatakan dalam satuan normal meter kubik (Nm³) yaitu volume gas pada suhu 0°C dan tekanan atmosfer (Winrock International, 2015).

Komponen utama dari biogas adalah metana yang mudah terbakar. Sehingga biogas dapat digunakan dengan berbagai tujuan pemanasan, seperti untuk memasak dan sebagai bahan bakar untuk mesin-mesin industri. Di dalam *biogas engine*, biogas diubah kandungan energinya menjadi listrik dan

panas. Biogas yang dikompresi dapat dijadikan bahan bakar untuk kendaraan bermotor melalui pembakaran di mesin.

Proses produksi biogas memanfaatkan kemampuan alami mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik. Proses penguraian menghasilkan biogas dan residu kaya nutrisi yang cocok untuk digunakan sebagai pupuk. Limbah organik berfungsi sebagai substrat atau media tumbuh organisme. Gambar 3 menunjukkan konversi biologis anaerobik dari berbagai substrat.



Sumber: Winrock International, 2015

Gambar 3. Substrat dan produk dalam sebuah proses konversi biologis anaerobik

Setiap zat organik yang bisa didegradasi secara biologis dapat berfungsi sebagai bahan untuk menghasilkan biogas. Meskipun begitu, ada beberapa bahan yang dapat menjadi sumber biogas yang lebih baik secara ekonomis maupun teknis.

Salah satu daya tarik utama dari teknologi biogas adalah kemampuannya dalam menghasilkan biogas dari limbah organik yang jumlahnya melimpah dan relatif murah seperti POME. Produksi biogas dengan menggunakan limbah yang mudah ditemui dan dapat didegradasi secara biologis memiliki dua kelebihan utama. Secara ekonomis, baik biogas maupun limbah akhir yang dihasilkan dari proses degradasi dapat dimanfaatkan. Pada saat yang bersamaan, pemilik limbah mendapatkan cara yang aman dan cepat untuk memproses limbahnya sehingga dapat menghindari dampak negatif terhadap lingkungan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bersifat studi analisis terhadap potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh limbah cair (POME) pabrik kelapa sawit. Untuk memperkecil ruang lingkup penelitian, maka penulis mengambil studi kasus di Provinsi Riau. Hal ini dikarenakan Provinsi Riau mempunyai perkebunan dan pabrik kelapa sawit terbesar di Indonesia.

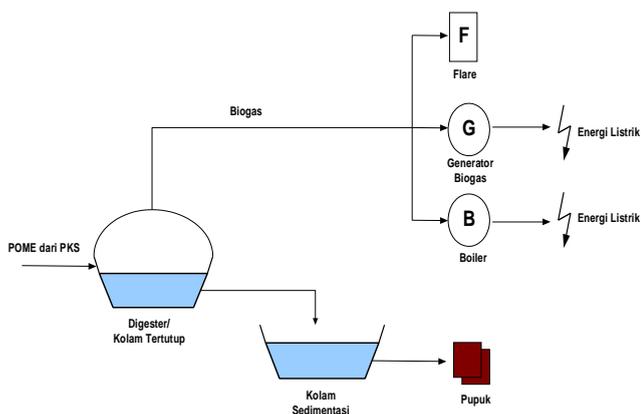
Berdasarkan data yang diperoleh Provinsi Riau mempunyai 2,38 juta hektar kebun kelapa sawit dan 140 pabrik kelapa sawit, dengan jumlah total produksi 8,06 juta ton minyak kelapa sawit (CPO) pada tahun 2015 (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2017) dan (PTPN V, 2014). Dengan banyaknya produksi minyak kelapa sawit di Provinsi Riau, maka ini juga menghasilkan limbah cair (POME) yang tidak sedikit. Limbah-

limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut sangat berpotensi menghasilkan sumber energi listrik yang terbarukan.

Proses pengolahan limbah cair (POME) menjadi energi listrik dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu :

- Proses pembentukan biogas, yaitu proses pengolahan dari limbah cair yang ada di kolam penampungan limbah (*digester*) menjadi biogas.
- Proses pembangkitan energi listrik, yaitu proses pembangkitan listrik dengan menggunakan generator biogas atau sebagai bahan bakar dari boiler.

Secara umum gambaran sistem pengolahan limbah cair menjadi energi listrik dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Proses pengolahan POME menjadi energi listrik

Limbah cair (POME) dari proses pengolahan minyak kelapa sawit di PKS akan ditampung di kolam-kolam penampungan tertutup (*digester*). Di dalam *digester* terjadi proses penguraian POME menjadi biogas dan residu (*slurry*). Residu dari hasil pengolahan POME di *digester* dialirkan dan ditampung di kolam-kolam sedimentasi. Residu ini dapat dimanfaatkan sebagai pupuk pada tanaman-tanaman di perkebunan. Sementara itu, biogas yang dihasilkan dari *digester* dialirkan ke generator biogas sebagai bahan bakar generator tersebut untuk menghasilkan listrik. Selain itu biogas tersebut juga dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler di pabrik-pabrik kelapa sawit.

Proses produksi biogas di *digester* berlangsung secara terus-menerus selama PKS-PKS tersebut selalu memproduksi. Sehingga terkadang terjadi kelebihan produksi biogas yang akan menyebabkan masalah keamanan. Oleh karena itu kelebihan biogas tersebut akan dibuang dengan cara dibakar di stasiun pembakaran (*flare*).

Produksi biogas yang merupakan bahan bakar untuk generator biogas bergantung pada suplai POME dari pabrik kelapa sawit. Dan untuk menentukan potensi energi listriknya dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari beberapa parameter penting. Tabel 3 menguraikan parameter *input* yang harus diidentifikasi sebelum melakukan analisa lebih lanjut.

Tabel 3. Parameter energi listrik terbarukan dari POME

Parameter	Unit	Keterangan
Jam operasi	jam/hari	Rata-rata jumlah jam operasi pabrik dalam sehari Rata-rata
Hari operasi	hari/tahun	Rata-rata jumlah jam operasi pabrik dalam sehari Rata-rata jumlah hari pabrik beroperasi dalam setahun
TBS Tahunan	ton TBS/tahun	Jumlah TBS yang diproses dalam setahun
Rasio POME terhadap TBS	m ³ /ton TBS	Rasio volume POME yang dihasilkan per TBS yang diolah. POME:TBS = (m ³ POME) / (ton TBS)
COD	mg/l	Chemical Oxygen Demand (COD) limbah cair yang dianalisis dengan spektrofotometer

Perhitungan parameter pada Tabel 3 didasarkan pada beberapa asumsi parameter operasi. Tabel 4 berikut merinci asumsi tersebut.

Tabel 4. Asumsi dalam menghitung potensi energi listrik

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
Rasio konversi CH ₄ terhadap COD	CH ₄ /COD	0,35	Nm ³ CH ₄ /kg COD removed	Volume metana yang dihasilkan per kg COD yang dihilangkan dari air limbah secara teoritis
Efisiensi COD removal	COD _{eff}	80-95	%	Persentase COD yang akan diubah menjadi metana
Nilai energi metana	CH _{4,ev}	35,7	MJ/m ³	Kandungan energi metana
Rata-rata efisiensi kelistrikan	Gen _{eff}	38-42	%	Efisiensi generator biogas dalam mengkonversi nilai energi metana menjadi energi listrik

Analisa perhitungan untuk menentukan potensi energi listrik yang dihasilkan dari POME adalah dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut:

1. Bahan baku harian (ton TBS/hari)

$$= \text{-----}$$

2. Aliran limbah cair harian (m³/hari) = Volume bahan baku harian x Rasio POME terhadap TBS

3. COD loading (kg COD/hari)

$$= \text{COD} \times \text{Aliran limbah cair harian} \times \text{-----} \times \text{-----}$$

4. Produksi CH₄ (Nm³ CH₄ /hari) = COD loading x COD_{eff} x CH₄/COD

5. Kapasitas pembangkitan listrik (MW)

$$= \frac{1.734.264 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{hari} \times 37,5 \text{ MJ/m}^3 \times 0,35}{3.600 \text{ kJ/kWh} \times 1000}$$

Hasil perhitungan kapasitas pembangkitan daya listrik berkaitan dengan potensi daya yang akan dihasilkan oleh generator biogas. Daya listrik yang dihasilkan generator akan berkurang dari jumlah yang dihitung karena ada potensi penghentian operasi untuk pemeliharaan dan gangguan mesin, maka dalam perhitungan digunakan faktor ketersediaan (*availability factor*). *Availability factor* umumnya berkisar antara 90 % hingga 98% dikalikan dengan potensi jumlah listrik yang dihasilkan dari generator biogas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dan analisa yang dilakukan pada penelitian ini mengambil studi kasus yang ada di Provinsi Riau, dimana analisa datanya dilakukan dengan beberapa tahapan.

1. Perhitungan Bahan Baku Harian (ton TBS/hari)

Pada tahun 2014, total pabrik kelapa sawit di Riau mencapai 140 buah PKS dengan kapasitas produksi 6.660 ton TBS/jam (Tabel 1). Dan rata-rata PKS tersebut beroperasi selama 300 hari/tahun dengan jam operasi 5000 jam/tahun. Sehingga jumlah kelapa sawit (Tanda Buah Segar/TBS) yang diolah menjadi minyak sawit (CPO) di Riau setiap harinya dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Bahan Baku Harian} = \frac{6.660 \text{ ton TBS/jam} \times 5000 \text{ jam/tahun}}{300 \text{ hari/tahun}}$$

$$= 111.000 \text{ ton TBS/hari}$$

2. Perhitungan Aliran Limbah Cair Harian (m³/hari)

Setelah mengetahui jumlah TBS yang diolah oleh PKS-PKS yang ada di Riau, maka selanjutnya dapat ditentukan aliran limbah cair (POME) setiap hari yang diproduksi oleh PKS-PKS tersebut. Dalam menentukan aliran limbah cair harian ini diperlukan parameter rasio POME terhadap TBS. Rasio POME terhadap TBS adalah perbandingan volume POME yang dihasilkan untuk setiap TBS yang diolah. Pada umumnya rasio POME terhadap TBS ini mempunyai rentang nilai antara 0,7 – 1 m³/ton. Nilai ini bergantung pada kondisi PKS-PKS tersebut. Dalam penelitian ini penulis mengasumsikan nilai dari rasio POME terhadap TBS adalah 0,8 m³/ton TBS. Maka aliran limbah cair harian dari PKS-PKS di Riau adalah :

$$\text{Aliran Limbah Cair Harian} = 111.000 \text{ ton TBS/hari} \times 0,8 \text{ m}^3/\text{ton TBS}$$

$$= 88.800 \text{ m}^3/\text{hari}$$

3. Perhitungan COD Loading (kg COD/hari)

Untuk menentukan nilai dari COD loading, maka perlu diketahui nilai dari parameter CODnya. COD (*Chemical*

Oxygen Demand) merupakan ukuran total oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi semua zat organik yang bersifat biologis maupun yang tidak bereaksi menjadi karbon dioksida dan air. Nilai dari COD dapat dianalisis dengan menggunakan alat ukur spectrofotometer. Dalam penelitian ini nilai COD diasumsikan 62.000 mg/l yang diukur setelah kolam pendinginan. Sehingga nilai dari COD loading adalah :

$$\text{COD loading} = 62.000 \text{ mg/l} \times 88.800 \text{ m}^3/\text{hari} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$= 5.505.600 \text{ kg COD/hari}$$

4. Perhitungan Produksi CH₄ (Nm³ CH₄ /hari)

CH₄ atau metana merupakan kandungan zat utama yang ada pada biogas. Komposisi CH₄ (metana) pada biogas berkisar antara 50 – 75 %. Pada umumnya persentase CH₄ yang didapat dari COD berkisar antara 80 – 95 %. Ini kita sebut dengan Efisiensi COD removal (COD_{eff}). Untuk penelitian ini kita mengasumsikan nilai COD_{eff} adalah 90 %. Dan nilai dari CH₄/COD adalah 0,35 Nm³ CH₄/kg COD (Tabel 4). Sehingga produksi metananya adalah:

$$\text{Produksi CH}_4 = 5.505.600 \text{ kg COD/hari} \times 90\% \times 0,35$$

$$= 1.734.264 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{hari}$$

5. Perhitungan Kapasitas Pembangkitan Listrik (MW)

Dengan mengasumsikan efisiensi generator biogas sebesar 38 % dan nilai energi metana CH_{4,ev} adalah 37,5 MJ/m³ (Tabel 4), maka kapasitas pembangkitan listrik dari POME di Provinsi Riau dapat ditentukan.

Kapasitas pembangkitan listrik

$$= \frac{1.734.264 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{hari} \times 37,5 \text{ MJ/m}^3 \times 0,38}{3.600 \text{ kJ/kWh} \times 1000}$$

$$= 286 \text{ MW}$$

Dengan sekitar 140 PKS dan kapasitas produksi 6.660 ton TBS/jam, maka dapat menghasilkan sekitar 88.800 m³/hari limbah cair (POME). Limbah-limbah cair yang semula kurang dimanfaatkan ini dapat menghasilkan biogas sekitar 1.734.264 Nm³ CH₄/hari, dan apabila diolah lagi maka akan menghasilkan energi listrik sebesar 286 MW bagi Provinsi Riau dan sekitarnya.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) dapat menghasilkan energi listrik yang dapat membantu kekurangan energi listrik di Riau, terutama di daerah-daerah terpencil yang ada disekitar pabrik-pabrik kelapa sawit. Banyak manfaat yang didapat dari pengolahan POME ini, selain untuk kebutuhan energi listrik limbah cair

ini juga dapat menghasilkan biogas dan pupuk. Selain itu pemanfaatan POME menjadi energi yang terbarukan dapat mengurangi efek rumah kaca yang berakibat pada pemanasan global.

REFERENSI

- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2017). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2016*.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2017). *Statistik Perkebunan Indonesia 2015 -2017 Kelapa Sawit*.
- Pane, N. E. P., & Kasim, S. T. (2016). STUDI POTENSI ENERGI BARU TERBARUKAN UNTUK MENGATASI DEFISIT PASOKAN TENAGA LISTRIK DI DAERAH SUMATERA UTARA. *Jurnal Singuda Ensikom*, 14 No.38(Januari 2016), 1–6.
- PTPN V. (2014). Sebaran Pabrik Kelapa Sawit di Indonesia, 2–5. Retrieved from <http://www.bumn.go.id/ptpn5/berita/11206/Ini.Sebaran.Pabrik.Kelapa.Sawit.di.Indonesia>
- Safrizal. (2015). Small Renewable Energy Biogas Limbah Cair (POME) Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Tipe Covered Lagoon Solusi Alternatif Defisit Listrik Provinsi Riau. *Jurnal DISPROTEK*, 6 No.1(Januari 2015), 26–35.
- Winrock International. (2015). *Konversi POME Menjadi Biogas*. Winrock International.