

Potensi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit sebagai Bahan Bakar Kompor Portabel Berbasis *Internet of Things*

Palm Oil Mill Effluent Potency as a Fuel for Portable Stove with Internet of Things-Based Monitors

Ali Usman^{1*)}, Ari Wibowo¹, Muhammad Ridho Ramadhan², Rahmad Hari Purnomo³

¹Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya Indralaya

³Dosen Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Indralaya 30128, Sumatera Selatan, Indonesia

*)Penulis untuk korespondensi: usmanalisyafatullah26@gmail.com

Sitasi: Usman A, Wibowo A, Ramadhan MR, Purnomo RH. 2020. Palm oil mill effluent potency as a fuel for portable stove with internet of things-based monitors. In: Herlinda S *et al.* (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020, Palembang 20 oktober 2020. pp. 73-81. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

ABSTRACT

Palm oil mill effluent processing in general is still carried out conventionally. However, this process requires a large area. In addition, conventional waste ponds can produce methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) which cause the greenhouse effect. If not treated properly, the palm oil mill effluent can give bad impacts to the environment. This paper contains the potential of palm oil liquid waste into biogas energy which is applied to portable stoves with Internet of Things (IoT)-based monitoring. The potential of palm oil mill effluent is studied based on in-depth and extensive literatures. The processing of palm oil mill effluent into biogas energy can be done with anaerobic digester technology which is added with one or two different substrates. To increase the percentage of methane gas, pressure swing absorption technology can be used. The sensor used for monitoring is adjusted to the observed parameters. The MQ2 sensor is used as gas leak detector, a load cell and the HX711 module are used as a load detector for gas cylinder, and LM35 is used as a temperature detector. Palm oil mill liquid waste has a potential to become biogas energy which can be applied in portable stoves with a Internet of Things (IoT)-based monitoring.

Keywords: biogas, internet of things, palm oil mill effluent waste

ABSTRAK

Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit secara umum masih dilakukan secara konvensional. Namun, proses tersebut membutuhkan lahan yang luas. Selain itu, kolam-kolam limbah konvensional juga dapat mengeluarkan gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) yang menjadi penyebab efek rumah kaca. Apabila tidak diolah dengan baik, limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut dapat merusak lingkungan. Makalah ini berisi tentang potensi dari limbah cair kelapa sawit menjadi energi biogas yang diaplikasikan ke kompor portabel dengan monitoring berbasis *Internet of Things*. Potensi dari limbah cair pabrik kelapa sawit dikaji berdasarkan studi literatur secara mendalam dan ekstensif. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi energi biogas dapat dilakukan dengan teknologi anaerobik digester yang ditambah dengan satu atau dua substrat yang berbeda. Untuk meningkatkan persen gas metana dapat menggunakan teknologi penyerapan ayunan

Editor: Siti Herlinda *et. al.*

ISBN: 978-979-587-903-9

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

tekanan. Sensor yang dipakai untuk monitoring disesuaikan dengan parameter yang diamati. Sensor MQ2 sebagai pendeteksi kebocoran gas, *load cell* dan modul HX711 sebagai pendeteksi beban kapasitas tabung gas, dan LM35 sebagai pendeteksi suhu. Limbah cair pabrik kelapa sawit sangat berpotensi menjadi energi biogas yang dapat diterapkan di kompor portabel dengan sistem monitoring berbasis Internet of Things.

Kata kunci: biogas, internet of things, limbah cair pabrik kelapa sawit

PENDAHULUAN

Pada tahun 2015-2017, luas area kelapa sawit terus meningkat berturut-turut 11,3; 11,7; dan 12,3 juta ha dengan produksi 31,1; 33,2; dan 35,4 juta ton CPO (Dirgantoro dan Adawiyah, 2018). Sehingga pada tahun 2020 diprediksi luas perkebunan kelapa sawit sebesar 13,3 juta hektar (Santoso, *et al.*, 2017). Dengan semakin banyak industri pabrik kelapa sawit maka akan bertambah limbah yang dihasilkan (Lubis *et al.*, 2019).

Limbah yang dihasilkan berupa padat, cair, dan gas. Limbah padat terdiri dari tandan kosong sawit (TKS), cangkang kelapa sawit (CKS), serabut kelapa sawit (SKS), bungkil kelapa sawit (BKS). Kemudian, limbah gas berasal dari proses produksi CPO. Sedangkan, limbah cair disebut dengan *palm oil mill effluent* (POME) (Sumarlin *et al.*, 2019). *Palm oil mill effluent* (POME) merupakan jenis limbah organik agroindustri berupa air, minyak, dan padatan organik (Hermansyah, *et al.*, 2018). Untuk menghasilkan 1 ton minyak kelapa sawit mentah membutuhkan 5-7,5 ton air, tapi 50% dari air tersebut akan menjadi POME (Said *et al.*, 2017).

Pengolahan limbah cair PKS telah dilakukan secara konvensional (Hadiyanto *et al.*, 2012). Namun, proses tersebut membutuhkan lahan yang luas. Selain itu, kolam-kolam limbah konvensional juga dapat mengeluarkan gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) yang menjadi penyebab efek rumah kaca. Kolam-kolam ini juga mengalami pendangkalan sehingga menyebabkan mutu limbah tidak tercapai (Rizal *et al.*, 2015). Dengan proses tersebut, pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi tidak efisien.

Metode lain pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit, seperti metode biologis, bioreaktor anaerob hibrid, koagulasi dan flokulasi menggunakan koagulan, emisi metana dari kolam anaerobik, sintesis polielektrolit dan elektrokoagulasi (Taqwa *et al.*, 2017). Serta dapat juga dengan metode kolam aerobik, dan teknologi membran (Said, *et al.*, 2017), teknologi pengeringan (*drying process*), dan penggunaan menjadi bahan penyiraman untuk pengomposan tandan kosong kelapa sawit. Umumnya, teknologi tersebut masih memerlukan biaya yang besar dan masih menghasilkan gas metana sebagai salah satu penyebab efek rumah kaca. (Gusrawaldi *et al.*, 2020).

Pemanfaatan limbah cair menjadi energi biogas sudah banyak dilakukan. Biogas adalah salah satu hasil biokonversi dari bahan organik yang dihasilkan melalui fermentasi tanpa oksigen dengan bantuan bakteri (Rizal *et al.*, 2015).

Biogas dapat dihasilkan selama degradasi anaerobik limbah cair pabrik kelapa sawit yang berasal dari aktivitas mikroba (Ohimain dan Izah, 2017). Biogas mengandung metana dan karbon dioksida dalam jumlah yang besar pada saat proses anaerobik limbah cair kelapa sawit (Rajani *et al.* 2018).

Pemanfaatan teknologi untuk mendeteksi kebocoran gas telah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Pada penelitian Yozandara (2017), sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas menggunakan sistem notifikasi dari komponen *buzzer*. Proses pengiriman data tersebut dilakukan melalui aplikasi telegram. Penelitian yang telah dilakukan oleh Rifai (2016), sensor MQ-2 yang dihubungkan dengan mikrokontroler jenis ESP8266 digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas menggunakan

prinsip *Internet of Things* (IoT). Menurut penelitian Hermawan dan Setiawan (2017), pendeteksian gas LPG menggunakan sensor MQ-2, kemudian pemrosesan data menggunakan Raspberry Pi 3 dan informasi peringatan ditampilkan pada aplikasi android *smartphone*. Selain sensor MQ-2 yang digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas, sensor-sensor lain juga digunakan dalam perancangan kompor ini seperti sensor beban dan sensor suhu. Sensor-sensor tersebut akan dikontrol oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560.

Dalam penelitian ini, biogas akan diaplikasikan ke kompor portabel yang dimonitoring dengan *Internet of Things*. Apabila sebuah sistem mengalami kebocoran biogas yang mengandung metana, maka insiden kebakaran akan sangat mudah untuk terjadi. Seperti halnya LPG, ledakan bisa disebabkan oleh adanya kebocoran gas, kelalaian manusia, komponen instrumen yang digunakan, dan cara menggunakan gas tersebut (Rifai, 2016). Sebuah teknologi dibutuhkan untuk mendeteksi adanya kebocoran gas dan memberikan notifikasi kepada penggunanya sehingga keadaan kompor dapat dimonitor dengan mudah oleh penggunanya.

Makalah ini bertujuan untuk menyajikan hasil ulasan (*review*) mendalam mengenai potensi limbah cair pabrik kelapa sawit untuk dijadikan sebagai bahan bakar di kompor portabel dengan sistem monitoring berbasis *Internet of Things*.

LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT

Palm Oil Mill Effluent (POME) dapat dikatakan sebagai hasil buangan dari agroindustri. Di Indonesia POME memiliki ketersediaan yang cukup tinggi. Mengandung protein, karbohidrat, senyawa nitrogen, lipid, dan mineral (Hermansyah, *et al.*, 2018).

Palm Oil Mill Effluent (POME) menjadi fokus industri untuk pengolahannya. POME berasal dari proses penggilingan utama, sterilisasi, dan klasifikasi. Serta sebagian kecil berasal dari pendingin turbin, blowdown boiler, pencucian lantai, dan luapan dari pengering vakum (Muzzammil dan Loh, 2020). Limbah POME yang berasal dari proses ekstraksi dan pengolahan minyak dapat merusak sungai. Sangat cocok untuk pupuk organik diperkebunan, karena mengandung lumpur yang tinggi kadar air dan nutrisi. Melalui proses pengolahan sistem kolam yang sederhana dan biaya yang rendah (Khairuddin *et al.*, 2016).

POME dengan BOD sebesar 20.000 mg/L dapat menyebabkan pH tanah meningkat. Selain itu, dapat menyediakan unsur N, P, K, Ca, dan Mg tanah. Tapi di dalam jaringan nutrisi tersebut tidak meningkat (Bakri *et al.*, 2015). Limbah cair pabrik kelapa sawit berpotensi menjadi pencemar lingkungan dan sebagai sumber serat microbia melalui bantuan bakteri *acetobacter xylinum* (Saroni *et al.*, 2016).

Dalam setiap satu ton tandan buah segar kelapa sawit akan menghasilkan sekitar 0,7-0,8 m³ *Palm oil mill effluent* (POME) (Shintawati *et al.*, 2017). Limbah POME yang keluar dari pabrik memiliki beberapa kandungan (Tabel 1).

Tabel 1. Parameter Fisiko-kimia *Palm oil mill effluent* (POME)

Parameter	
pH	5,32-6,36
Oksigen terlarut (mg/l)	2,57-4,13
COD (mg/l)	1221-2422
Padatan tersuspensi (mg/l)	14,1-26,4
Padatan tersuspensi mudah menguap (g/l)	8,1
Total padatan (mg/l)	29,6-55,4
Padatan yang menguap (g/l)	24,3
BOD (mg/l)	254-1541

Sumber: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, E.I. Ohimain, S.C. Izah tahun 2017

TEKNOLOGI PENANGKAPAN BIOGAS

Menurut Winanti *et al.* (2019) salah satu teknologi pengolahan limbah yang paling hemat energi dan ramah lingkungan untuk produksi biogas pada limbah cair pabrik kelapa sawit adalah dengan proses anaerobik. Pengolahan limbah secara anaerobik dapat menghasilkan biogas dengan merubah bahan organik kompleks menjadi sumber energi terbarukan. Berikut adalah tabel kandungan biogas yang terdapat pada *Palm oil mill effluent* (POME) (Tabel 2).

Tabel 2. Kandungan biogas pada limbah *Palm oil mill effluent* (POME)

Unsur	% kandungan
Metana (CH ₄)	55-75
Karbon Dioksida (CO ₂)	30-45
Hidrogen Sulfida	1-2
Nitrogen (N ₂)	< 3
Hidrogen (H)	5-10
Oksigen (O ₂)	< 1

Sumber: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, E.I. Ohimain, S.C. Izah tahun 2017

Salah satunya teknologi *fixed bed* yang memiliki keunggulan efisiensi mencapai 75-85%. Teknologi ini dilengkapi dengan penyangga yang berfungsi sebagai tempat menempel mikroba atau bakteri. Potongan bambu cukup efektif sebagai material penyangga di dalam teknologi *fixed bed*. Bambu memiliki *biofilm* yang tebal untuk menahan bahan organik termasuk bakteri. Selain itu, potongan bambu bisa digunakan lebih dari 10 tahun (Winanti *et al.*, 2019).

Teknologi *covered lagoon* juga dapat digunakan untuk menangkap biogas dari limbah cair kelapa sawit. Teknologi ini menggunakan bahan *reinforced polypropylene* untuk menutup kolam limbah konvensional sebagai *anaerobic digester*. Biogas yang dihasilkan adalah sebanyak $\pm 20 \text{ m}^3$ / ton tandan buah segar (TBS). Dengan 30 ton TBS/jam, biogas dapat dihasilkan sebanyak $\pm 600 \text{ m}^3$ /ton, setara dengan energi sebanyak 3.720 kWh (Alkusma *et al.*, 2016).

Teknologi lainnya yang digunakan untuk menangkap biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit adalah anaerobik digester. Teknologi ini lebih efektif untuk menghasilkan biogas yang cukup besar dengan komponen utama sebuah reaktor besar yang bisa dikendalikan. Sehingga komposisi, mikrobial, dan temperatur dapat diatur. Dengan tingkat BOD yang lebih rendah dari 100 mg/l, biogas yang dihasilkan dengan maksimal sebanyak $\pm 28 \text{ m}^3$ / ton TBS. Oleh sebab itu, biogas sebanyak $\pm 840 \text{ m}^3$ /jam atau sama dengan energi sebesar 5.208 kWh dapat menghasilkan kapasitas PKS sebanyak 30 ton TBS/jam (Alkusma *et al.*, 2016).

Anaerobik digester merupakan proses penguraian senyawa organik kompleks untuk menghasilkan biogas. Dengan bantuan bakteri yang berbeda di setiap proses. Anaerobik digester merupakan teknologi penguraian limbah menjadi energi biogas. Terdiri dari 4 proses, yaitu hidrolisis, asetogenesis, dan metanogen (Uddina *et al.*, 2019). Untuk mempercepat proses produksi biogas dapat dilakukan dengan dua tahap yaitu tahap *acidogenesis* dan selanjutnya tahap *metanogenesis* (Trisakti *et al.*, 2015).

Untuk meningkatkan produksi biogas dapat dikombinasikan dengan menggunakan dua atau lebih substrat yang berbeda. Anaerobik *co-digestion* salah satu teknologi untuk mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit. Melalui penggabungan dua atau lebih limbah yang saling melengkapi dalam hal nutrisi dan pengenceran toksisitas (Saelor *et al.*, 2017). Menurut Suksong *et al.* (2017) dan Saelor *et al.* (2017) teknologi *co-digestion* memiliki keunggulan berupa perbaikan hasil biogas, keuntungan ekonomi yang diperoleh dari

berbagi peralatan, penanganan limbah campuran yang lebih mudah, dan efek sinergis pada pertumbuhan mikroba.

Biogas yang dihasilkan dari limbah cair pabrik kelapa sawit tidak hanya metana tapi juga terdapat karbon dioksida. Menurut Hoo *et al.*, (2017) untuk meningkatkan jumlah metana, dapat menggunakan teknologi penyerapan ayunan tekanan. Biogas yang awalnya 50-62.5% dapat ditingkatkan menjadi biometana sebesar 90-97%.

PARAMETER KEBOCORAN GAS

Menurut Priyambodo *et al.* (2019), pengujian alat pendeteksi kebocoran gas dilakukan menggunakan sensor MQ2 untuk mengetahui keberadaan gas karbon monoksida. Pada penelitiannya, hasil percobaan dari pengukuran output sensor MQ2 tersebut dilakukan dengan membandingkan tegangan keluaran sensor tanpa adanya gas dan dengan adanya gas (Tabel 3).

Tabel 3. Tegangan keluaran sensor

Tegangan Keluaran Sensor (V_{DC})	Bentuk Gelombang
0,45	
0,46	
0,42	
0,41	
0,43	
0,41	
0,42	
0,45	
0,46	
0,41	

$$\overline{V_{out}} = \frac{\sum V_{out}}{\sum \text{Banyak Pengujian}} = \frac{4,32}{10} = 0,432 \text{ Volt}$$

Setelah dilakukan sebanyak 10 kali ujicoba pada kondisi tanpa gas, rata-rata tegangan keluaran sensor yang dihasilkan adalah sebesar 0,432 Volt (Tabel 4).

Tabel 4. Tegangan keluaran sensor

Tegangan Keluaran Sensor (V_{DC})	Bentuk Gelombang
3,87	
3,95	
3,94	
3,39	
3,63	
3,52	
3,51	
3,76	
3,65	
3,87	

$$\overline{V_{out}} = \frac{\sum V_{out}}{\sum \text{Banyak Pengujian}} = \frac{37,09}{10} = 3,709 \text{ Volt}$$

Sedangkan, pengukuran yang dilakukan sebanyak 10 kali pada kondisi dengan adanya gas dalam kompor menghasilkan rata-rata tegangan keluaran sensor sebesar 3,709 Volt.

Setelah dilakukan sebanyak 10 kali uji coba pada kondisi tanpa gas, rata-rata tegangan keluaran sensor yang dihasilkan adalah sebesar 0,432 Volt. Sedangkan, pengukuran yang dilakukan sebanyak 10 kali pada kondisi dengan adanya gas dalam kompor menghasilkan rata-rata tegangan keluaran sensor sebesar 3,709 Volt.

PARAMETER KAPASITAS TABUNG GAS

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Agustina *et al.* (2018), sistem monitoring kapasitas tabung gas dilakukan menggunakan *load cell* dan modul HX711 untuk mengukur perubahan beban tabung gas tersebut. Pengujian yang telah dilakukan pada tabung gas menghasilkan akurasi sebesar 97,9075%. Sedangkan, pengujian data sensor berat yang dilakukan pada beban 15 kg dan diulangi sebanyak 25 kali mendapatkan akurasi sebesar 97,962%.

PARAMETER SUHU

Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan dan Tjahyadi (2016), menguji suhu yang berasal dari dalam rangka kompor gas LPG satu tungku. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sensor LM35 yang diujikan pada pelat kompor yang telah dipanaskan. Hasil percobaan data waktu tanggapan mikrokontroler Atmega 16 terhadap deteksi sensor LM35 adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Tegangan keluaran sensor

Detik ke-	Tegangan Keluaran Sensor	Waktu Tanggap Solenoid Gas Valve Menutup
1	0,80 Volt	1 detik
2	0,79 Volt	1,03 detik
3	0,80 Volt	1 detik
4	0,80 Volt	1 detik
5	0,80 Volt	1 detik

PARAMETER KEBOCORAN GAS

Menurut Priyambodo *et al.*, (2019), pendeteksian kebocoran gas LPG didasarkan pada konsentrasi gas dalam sistem tertutup tersebut. Konsentrasi dengan interval ± 40 ppm sampai dengan 100 ppm masih dapat dikategorikan dalam kondisi aman. Sedangkan, konsentrasi gas yang melebihi 220 ppm dikategorikan sistem dalam kondisi bahaya.

Besaran analog konsentrasi gas berdasarkan penelitian yang telah dilakukan akan diubah menjadi besaran digital sehingga keberadaan gas akan bisa dideteksi oleh sensor MQ2. Berdasarkan penelitian tersebut, kesimpulan yang bisa ditafsirkan adalah apabila tegangan output sensor $\leq 0,432$ Volt, sistem masih dalam keadaan tanpa gas dan kondisi aman. Apabila tegangan keluaran sensor berada pada rentang lebih dari 0,432 Volt dan kurang dari 3,709 Volt, sistem dalam keadaan ada gas terdeteksi namun kondisi siaga. Sedangkan, apabila tegangan keluaran sensor melebihi 3,709 Volt, konsentrasi gas di dalam sistem tersebut berlebihan dan dalam kondisi berbahaya.

PARAMETER KAPASITAS TABUNG GAS

Data sekunder pengujian yang dilakukan pada penelitian Agustina *et al.* (2018) memiliki kesalahan yang kecil yaitu kurang dari 3%. Besar kesalahan tersebut disebabkan

oleh adanya penundaan (*delay*) dalam pengiriman dari perangkat keras ke basis data aplikasi. Total rata-rata penundaan pengiriman data dari perangkat keras ke basis data aplikasi adalah sebesar 3,51 detik. Sedangkan, total rata-rata penundaan data dari basis data ke aplikasi selama 0,71 detik.

PARAMETER SUHU

Data analog yang dihasilkan oleh sensor suhu LM35 memiliki karakteristik tegangan keluaran sebesar 10 mV/°C yang diperoleh dari *datasheet* sensor tersebut. Berdasarkan penelitian Kurniawan dan Tjahyadi (2016), mikrokontroler Atmega 16 akan memberikan sinyal ke *driver relay* yang digunakan kurang dari 2 detik pada saat sensor LM35 membaca pada suhu 80°C. Lamanya waktu tanggap solenoid untuk membuka dan menutup beberapa kali yang berbeda dipengaruhi tingkat panas kumparan pada solenoid dan adanya perubahan nilai daya yang diterima oleh *relay driver* dan solenoid.

KESIMPULAN

Jadi dapat disimpulkan bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit berpotensi menjadi energi biogas yang diterapkan di kompor portabel dengan monitoring berbasis *Internet of Things*. Limbah cair pabrik kelapa sawit diolah menjadi energi biogas dengan teknologi anaerobik digester yang ditambah dengan satu atau dua substrat yang berbeda. Untuk meningkatkan persen gas metana dapat menggunakan teknologi penyerapan ayunan tekanan. Sensor yang dipakai adalah Sensor MQ2 sebagai pendeteksi kebocoran gas, *load cell* dan modul HX711 sebagai pendeteksi beban kapasitas tabung gas, dan LM35 sebagai pendeteksi suhu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membiayai penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing dan reviewer yang telah memberikan masukan serta saran yang membangun.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina R, U Sunarya dan D Gusnadi. 2018. perancangan dan implementasi sistem monitoring kapasitas tabung gas dan air galon pada smart kitchen berbasis internet of things. *E-Proceeding of Applied Science*. 4(3): 2663-2669.
- Alkusma YM, H Hermawan dan H Hadiyanto. 2016. Pengembangan potensi energi alternatif dengan pemanfaatan limbah cair kelapa sawit sebagai sumber energi baru terbarukan di kabupaten Kotawaringin Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 14(2): 96-102.
- Bakri B. Bernas, SM, Budianta D dan Said M. 2015. The change of nutrients in tidal swamp soil and palm oil plant Due to Several Dosages Application of Palm Oil Mill Effluent on Planting Media. *SAINS TANAH-Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 12(2): 53-60.
- Dirgantoro MA dan Adawiyah R. 2018. Nilai ekonomi pemanfaatan limbah kelapa sawit menuju zero waste production. *Biowallacea*. 5(2): 825-837.
- Gusrawaldi M, Parinduri L. 2020. Perencanaan pemanfaatan limbah cair untuk pembangkit listrik pabrik kelapa sawit. *Journal of Electrical Technology*. 5(1).

- Hadiyanto H. Nur, MMA dan Hartanto GD. 2012. Cultivation of *Chlorella* sp. as Biofuel Sources in Palm Oil Mill Effluent (POME). *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(2): 45-49.
- Hermansyah H. 2018. Production of Dry Extract Lipase from *Pseudomonas Aeruginosa* by the Submerged Fermentation Method in Palm Oil Mill Effluent. *International Journal of Technology*, 9(2): 325-334.
- Hermawan D dan EB Setiawan. 2017. Prototype of Gas Warning Monitoring Application Using Mobile Android Smartphone: A Case Study. *International Journal of New Media Technology*. 4(1):17-24.
- Hoo PY. 2017. Optimal Biomethane Injection into Natural Gas Grid – Biogas from Palm Oil Mill Effluent (POME) in Malaysia. *Energy Procedia* Volume 105 : 562-569
- Khairuddin MN. 2016. The Potential Of Treated Palm Oil Mill Effluent (Pome) Sludge As An Organic Fertilizer. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 38(2) : 142-154.
- Kurniawan MA dan G Tjahjadi. 2016. Pengaman Otomatis Kompor Gas LPG satu Tungku Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 16. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*. 14(1): 19-34.
- Lubis MR, Fujianti DS, Zahara R. dan D. 2019. The Optimization of The Electrocoagulation of Palm Oil Mill Effluent With a Box-Behnken Design. *International Journal of Technology*, 10(1): 137-146.
- Muzzammil N dan Loh SK. 2020. Pilot Scale Integrated Anaerobic-Aerobic Treatment of Palm Oil Mill Effluent. *Journal of Oil Palm Research*, 32(2) : 286-293.
- Ohimain EI dan SC Izah. 2017. A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *ELSEVIER: Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 70: 242-253.
- Priyambodo S dan JA Sinaga. 2019. Purwapupa Alat Pendeteksi Kebocoran Gas Lpg Berbasis IoT (Internet Of Things) Dengan Indikator Monitor Jarak Jauh Berbasis Platform NodeMCU. *Symposium Nasional RAPI XVIII*. 356-363.
- Rajani, A Kusnadi, A Santosa, A Saepudin, S Gobikrishnan, dan D Andriani. 2019. Review on biogas from palm oil mill effluent (POME): Challenges and opportunities in Indonesia. *The 2nd International Conference on Natural Resources and Life Sciences (NRLS): IOP Publishing*. 293: 1-11.
- Rifai, AF. 2016. Sistem Pendeteksi dan Monitoring Kebocoran Gas (Liquefied Petroleum Gas) Berbasis Internet of Things. *Jurnal Informatika Sunan Kalijaga (JISKa)*. 1(1): 5-13.
- Rizal, TA, Mahidin dan Ayyub M. 2015. Pengembangan Anaerobic Digester Untuk Produksi Biogas Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Ilmiah Jurutera*. 2(2): 8-19.
- Saelor S, Kongjan P dan O-Thong S. 2017. Biogas Production from Anaerobic Co-digestion of Palm Oil Mill Effluent and Empty Fruit Bunches. *Energy Procedia*, Volume 138: 717-722.
- Said M, Ba-Abbad, MM, Abdullah, SRS dan Mohammad AW. 2017. Application of Response Surface Method in Reverse Osmosis Membrane to Optimize BOD, COD and Colour Removal from Palm Oil Mill Effluent. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 7(5): 1871-1878.
- Shintawati, Hasanudin U dan Haryanto A. 2017. Karakteristik Pengolahan Limbah Cair Minyak Kelapa Sawit dalam Bioreaktor Cigar Kontinu. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 6(2): 81-88.
- Suksong W, Promnuan K, Seengenyong J dan O-Thong S. 2017. Anaerobic Co-Digestion of Palm Oil Mill Waste Residues with Sewage Sludge for Biogas Production. *Energy Procedia*, Volume 138: 789-794.

- Sarono, Zulfahmi dan Akmal S. 2016. Proses Pembuatan Serat Mikrobial (Nata) Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 26(2) : 171-176.
- Sumarlin LOF dan Chalid SY. 2019. Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit sebagai Antibrowning dan Repellent Aedes Aegypti. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*. 24(2): 117-126.
- Taqwa AJ dan Syakdani A. 2017. Treatment Optimization of Electrocoagulation (EC) in Purifying Palm Oil Mill Effluents (POMEs). *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 49(5) : 604-617.
- Trisakti B, Manalu V, Taslim I dan Turmuzi M. 2015. Acidogenesis of Palm Oil Mill Effluent to Produce Biogas: Effect of Hydraulic Retention Time and pH. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Volume 195 : 2466-2474.
- Uddina M. 2019. Enhancement of Biogas Generation in Up-Flow Sludge Blanket (UASB) Bioreactor From Palm Oil Mill Effluent (POME). *Energy Procedia*, Volume 160 : 670-676.
- Winanti WSP dan W. 2019. Pengolahan Palm Oil Mill Effluent (POME) menjadi Biogas dengan Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed tanpa Proses Netralisasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 20(1).
- Yozandra Y. 2017. *Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebocoran Gas Menggunakan Arduino Dengan Notifikasi Buzzer Dan Telegram*. Politeknik Negeri Padang.