

STUDY OF THE UTILIZATION OF PALM OIL INDUSTRY LIQUID WASTE

An nisa Fitria, Vandhie Satyawira Gunawan, Mardiah*

Program Studi Teknik Kimia Universitas Mulawarman Samarinda
Jl. Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

*E-mail corresponding author: mardiah@ft.unmul.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 14-02-2021 Received in revised form: 24-03-2021 Accepted: 12-04-2021 Published: 13-04-2021</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i> Liquid waste industry Palm oil Utilization</p>	<p><i>Palm oil is one of the plantation crops that have high economic value and is growing rapidly. The wider the area of oil palm plantations in Indonesia, the more palm oil mills will process palm fresh fruit marks and produce waste from processed palm oil, namely solid waste and liquid waste. Each tonne of fresh fruit bunches (FFB) processed at the plant will potentially leave waste of about 23% empty palm oil, 4% wet decanter solid, 6.5% shell, 13% fiber, and 50% liquid waste. This review will discuss the utilization of palm oil mill liquid waste (LCPKS) which is organic material that still contains many benefits such as nutrients, therefore the application of liquid waste is an effort to recycle some of the nutrients (recycling nutrients) which is followed by harvesting fresh fruit bunches (FFB) from oil palm so that it will reduce the cost of fertilization which is classified as very high for oil palm cultivation. During the processing of oil palm fruit into palm oil in the palm oil industry, the remaining process is obtained in the form of liquid waste. If done properly, the liquid waste of the palm oil industry is considerable potential and can increase the added value of waste itself.</i></p>

STUDI PEMANFAATAN LIMBAH CAIR INDUSTRI KELAPA SAWIT

Abstrak- Kelapa sawit merupakan salah satu tanaman perkebunan yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berkembang pesat. Semakin luasnya areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia maka jumlah pabrik kelapa sawit akan semakin banyak mengolah tanda buah segar kelapa sawit dan menghasilkan limbah. Limbah dari hasil olahan kelapa sawit yaitu limbah padat dan limbah cair. Setiap ton tandan buah segar (TBS) yang diolah di pabrik akan berpotensi menyisakan limbah sekitar 23 % tandan kosong kelapa sawit, 4 % wet decanter solid, 6,5 % cangkang, 13 % serabut dan 50% limbah cair. Studi literatur ini berfokus pada pemanfaatan Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) yang merupakan bahan organik dan masih memiliki banyak manfaat. Oleh karena itu aplikasi limbah cair tersebut merupakan usaha daur ulang sebagian hara (*nutrient recycling*) yang terikat melalui panen tandan buah segar (TBS) kelapa sawit, sehingga akan mengurangi biaya pemupukan yang tergolong sangat tinggi untuk budidaya tanaman kelapa sawit. Selama proses pengolahan buah kelapa sawit menjadi minyak sawit di industri kelapa sawit diperoleh sisa proses berupa limbah cair. Bila dilakukan pengelolaan dengan baik maka limbah cair industri kelapa sawit tersebut merupakan potensi yang cukup besar dan dapat meningkatkan nilai tambah limbah itu sendiri.

Kata kunci : limbah cair, pabrik kelapa sawit, pemanfaatan.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis jacq*) merupakan tumbuhan industri penghasil minyak goreng, minyak industri, maupun bahan bakar (biodiesel). Perkembangan komoditas ekspor kelapa sawit terus meningkat dari tahun ke tahun,

terlihat dari rata-rata laju pertumbuhan luas areal kelapa sawit selama 2004–2014 sebesar 7,67%, sedangkan produksi kelapa sawit meningkat rata-rata 11,09% per tahun. Indonesia menjadi salah satu negara yang paling besar dalam produksi CPO. Namun timbul permasalahan baru yaitu dengan

semakin banyaknya limbah cair yang dihasilkan dari suatu pabrik pengolahan kelapa sawit maka daya tampung limbah cair di pabrik kelapa sawit akan semakin meningkat setiap harinya. Dalam satu ton tandan buah segar (TBS) dapat dikonversi menjadi 0,2 ton CPO, sementara 0,66 ton akan dikonversi menjadi limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS). Sedangkan produksi minyak sawit (crude palm oil/CPO) terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun dari 19,2 juta ton pada 2008 meningkat menjadi 19,4 juta ton pada 2009 (Anonim, 2009).

Kenaikan produksi CPO tersebut menyebabkan semakin tingginya potensi produk sampingan pada proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi CPO tersebut. Selama proses pengolahan buah kelapa sawit menjadi minyak sawit di industri kelapa sawit dihasilkan limbah cair yang masih mengandung minyak dan komponen organik lainnya (Latif, 2008). Dengan semakin meningkatnya luas perkebunan kelapa sawit maka akan berpengaruh terhadap banyaknya limbah yang dihasilkan. Seperti halnya limbah pelepah kelapa sawit serta limbah hasil dari pabrik pengolahan kelapa sawit. Limbah–limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan limbah kembali dan penanganan perlu diperhatikan. Pengolahan limbah cair dari hasil samping industri kelapa sawit merupakan hal penting dalam rangka penanganan lingkungan industri dan dalam rangka meningkatkan nilai tambah limbah itu sendiri.

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit untuk Pembenah Tanah

Limbah Industri Kelapa Sawit Limbah industri minyak kelapa sawit menghasilkan limbah bentuk fasa padat, cair dan gas. Limbah fasa padat berupa pasir, tanah, tandan buah, ampas, dan batok/cangkang. Limbah fasa gas terjadi karena penguraian zat organik yang terkandung dalam limbah cair, hasil pembakaran bahan bakar pada ketel uap (boiler). Sedangkan limbah fasa cair sebagian besar dihasilkan dari unit proses yang berasal dari pengembunan uap air (Firmansyah dan Saputra, 2001).

Definisi pemanfaatan air limbah ke tanah (LA) adalah suatu kegiatan dimana air limbah atau sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair digunakan atau difungsikan sebagai fertiliser (penyuplai unsur hara) bagi tanah dan tanaman (KLH, 2005). Penggunaan air limbah untuk pertanian mempunyai fungsi ganda disamping menanggulangi pencemaran. Unsur-unsur hara yang terdapat dalam limbah berfungsi sebagai unsur pupuk yang menyuburkan tanaman. Dengan demikian akan dapat memperbaiki struktur tanah (Ginting, 2007).

Karakteristik limbah cair industri kelapa sawit memiliki nilai yang relatif lebih tinggi dari kualitas limbah cair kelapa sawit yang diperkenankan untuk dimanfaatkan sebagai suplemen pupuk dan air irigasi pada perkebunan kelapa sawit adalah pada kadar BOD < 5.000 mg/L atau COD < 10.000 mg/L dengan pH antara 6 – 9 (KepMen LH No. 29 tahun 2003).

Pemanfaatan limbah cair sebagai pupuk/bahan pembenah tanah di perkebunan kelapa sawit sangat dimungkinkan atas dasar adanya kandungan hara dalam limbah tersebut. Pemanfaatan limbah ini disamping sebagai sumber pupuk/bahan organik juga akan mengurangi biaya pengolahan limbah sebesar 50-60% (Pamin, et al, 1996).

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit sebagai Sumber Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Kebutuhan akan energi listrik selalu meningkat setiap tahunnya, namun kebutuhan akan energi listrik ini tidak sebanding dengan pasokan energi yang ada saat ini. Hal ini dikarenakan sumber energi utama yang saat ini digunakan masih mengandalkan dari penggunaan bahan bakar fosil, yang mana dalam waktu cepat ataupun lambat bahan bakar fosil tersebut akan dapat habis jika digunakan secara terus menerus. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian bahan bakar fosil tersebut, maka dengan mengembangkan sumber energi alternatif diharapkan mampu sebagai pengganti pemakaian bahan bakar fosil untuk menyelesaikan masalah krisis energi yang terjadi saat ini (Irwansyah dkk, 2016).

Industri pabrik kelapa sawit (PKS) merupakan sumber limbah biomasa yang potensial mengingat limbah biomasa yang ada sudah terkumpul sehingga mengurangi biaya pengumpulan. Perkebunan kelapa sawit seluas 12,3 juta hektar atau sekitar 42 % dari total lahan perkebunan nasional pada tahun yang sama. Prosentase kandungan minyak kelapa sawit terhadap tandan buah segar (TBS) sekitar 24%, prosentasi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap tandan buah segar sekitar 21%, dan potensi limbah cair pabrik kelapa sawit atau palm oil mill effluent (POME) sekitar 58,1% dari tandan buah segar. Komposisi 58,1% POME tersebut terdiri atas 27,9 % Condensate dan 30,2% Effluent (Agung,2017).

Salah satu energi alternatif yang dinilai efisien untuk menggantikan peran energi fosil sebagai bahan bakar adalah pemanfaatan limbah cair kelapa sawit ataupun POME sebagai bahan baku pembangkit listrik tenaga biogas (Omer AM, 2007). Sebagai negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia dan masih tingginya permintaan dunia akan kebutuhan kelapa sawit membuat

penambahan industri kelapa sawit di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya (Statistik Perkebunan Indonesia, 2017).

Pabrik Kelapa Sawit menghasilkan limbah POME yang berpotensi memproduksi biogas, dimana 65% merupakan gas metan CH_4 yang menimbulkan dampak buruk pada lingkungan. Limbah POME perlu dikelola dengan cara menangkap gas yang dihasilkan tersebut untuk dimanfaatkan energinya, yaitu bisa dengan cara langsung untuk pembakaran di boiler atau digunakan sebagai bahan bakar pembangkit generator listrik (Agung, 2017). POME akan memproduksi gas metan (CH_4) yang merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang berdampak pada pemanasan global. Penangkapan metana dan pengubahan biogas menjadi energi menawarkan salah satu alternatif bagi industri PKS untuk mengurangi dampak lingkungan sekaligus menghasilkan energi terbarukan. Membuang POME langsung ke sungai atau ke lahan perkebunan adalah pelanggaran karena dapat menimbulkan akibat yang merugikan. Untuk itu Pemerintah Indonesia mengatur tingkat kandungan yang diperbolehkan dalam POME yang telah diolah untuk dibuang langsung ke sungai atau lahan perkebunan oleh pihak industri PKS.

POME memiliki potensi energi yang tinggi, namun pada umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. POME diurai di kolam limbah dibiarkan membusuk secara alami. Proses pembusukan biomassa ini akan menghasilkan biogas dengan kandungan utama (62%) gas methana (CH_4). Gas ini muncul sebagai akibat dari proses perombakan senyawa-senyawa organik secara anaerobik. Gas methana tersebut ternyata juga memiliki tingkat emisi yang tinggi. UNFCCC, badan PBB yang menangani perubahan iklim, mencatat gas methana memiliki tingkat emisi 24 kali jika dibandingkan dengan gas karbon (CO_2). Salah satu energi alternatif yang dinilai efisien untuk menggantikan peran energi fosil sebagai bahan bakar adalah pemanfaatan limbah cair kelapa sawit ataupun POME sebagai bahan baku pembangkit listrik tenaga biogas (Omer AM, 2007). Sebagai negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia dan masih tingginya permintaan dunia akan kebutuhan kelapa sawit membuat penambahan industri kelapa sawit di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya (Statistik Perkebunan Indonesia, 2017). Pembangkit Listrik Tenaga Biogas merupakan pembangkit yang dapat membangkitkan energi listrik dari produksi gas bio melalui proses anaerobik dari bahan organik salah satunya adalah POME (Grady, C. P. L., G. T. Daigger, & H. C. Lim, 1999).

Teknologi yang telah banyak digunakan untuk mengambil biogas dari POME adalah Covered Lagoon. Teknologi ini dilakukan dengan

menutup kolam limbah konvensional dengan bahan reinforced polypropylene sehingga berfungsi sebagai anaerobic digester. Biogas akan tertangkap dan terkumpul di dalam cover. Dengan teknologi ini, akan dihasilkan biogas sebanyak ± 20 m³/ton TBS. Jadi jika kapasitas PKS sebesar 30 ton TBS/jam akan menghasilkan biogas ± 600 m³/jam, atau setara dengan energi sebesar 3.720 kWh. Jika energi tersebut digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan gas engine (efisiensi 35%) maka akan dapat dibangkitkan listrik sebesar 1.303 kWh atau 1,3 MW. Jika dihitung secara ekonomi, dengan asumsi pembangkit beroperasi selama 300 hari/tahun dan 24 jam/hari dan harga ditetapkan Rp. 975/kWh, sesuai permen ESDM (04/2012) untuk pulau Jawa, maka terdapat potensi pendapatan sebesar Rp. 9,15 M/tahun.

Potensi biogas yang dihasilkan dari 600-700 kg limbah cair PMKS dapat diproduksi sekitar 20 m³ biogas (Goenadi, 2006) dan setiap m³ gas methan dapat diubah menjadi energi sebesar 4.700 – 6.000 kkal atau 20-24 MJ (Isroi, 2008). Sebuah PMKS dengan kapasitas 30 ton TBS/jam dapat menghasilkan tenaga biogas untuk energi setara 237 kWh (Naibaho, 1996). Selain menghasilkan biogas, pengolahan limbah cair dengan proses digester anaerobik dapat dilakukan pada lahan yang sempit dan memberi keuntungan berupa penurunan jumlah padatan organik, jumlah mikroba pembusuk yang tidak diinginkan, serta kandungan racun dalam limbah. Di samping itu juga membantu peningkatan kualitas pupuk dari sludge yang dihasilkan, karena sludge yang dihasilkan berbeda dari sludge limbah cair PMKS biasa yang dilakukan melalui proses konvensional (Tobing, 1997).

Proses pengolahan tandan buah segar menjadi crude palm oil (CPO) dan seluruh aktivitas produksi pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan biomassa, berupa limbah padat maupun cair dalam volume sangat besar. Pemanfaatan limbah padat dan cair dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Komponen terbesar yang terkandung dalam biogas adalah CH_4 (55% – 70%) dan CO_2 (30% – 45%) serta sejumlah kecil, nitrogen dan hidrogen sulfida. Apabila kandungan gas metan dalam biogas lebih dari 50%, biogas tersebut layak digunakan sebagai bahan bakar, bersifat mudah meledak dan terbakar. Gas metana memiliki nilai kalor 50,1 MJ/kg (Deublein dan Steinhauser, 2008).

Potensi biogas untuk dikonversi menjadi energi listrik mempunyai prospek yang menjanjikan. Setiap 1 m³ biogas dapat menghasilkan 3 kWh. 1 m³ gas metan dapat diubah menjadi energi sebesar 4.700 – 6.000 kkal atau 20 - 24 MJ Energi sebesar itu setara dengan energi yang dihasilkan oleh 0.48 kg gas Elpiji (LPG). Pengembangan klaster industri kelapa sawit dengan kapasitas produksi 30 Ton TBS/jam akan

menghasilkan limbah cair 330 m³/hari setara 990 kWh. potensi biogas 58,2 milyar kWh (energi) pertahun dapat membangkitkan listrik berbasis kontinue sepanjang tahun dengan daya 3.600 MW. Jika densitas methana 0,717 kg/m³ gas 1 m³ methana akan memiliki energi setara dengan 35,9 MJ atau sekitar 10 kWh. Jika kandungan gas methana adalah 62% dalam biogas, biogas 1 m³ akan memiliki tingkat energi sebesar 6,2 kWh, dengan asumsi efisiensi konversi biogas menjadi listrik 33%.

Pemanfaatan gas metana sebagai pembangkit listrik menjadi pilihan ideal sebagai solusi mengatasi permasalahan emisi gas metana yang ditimbulkan dari sistem kolam terbuka kelapa sawit. Di sisi lain, keputusan untuk memanfaatkan gas metana menjadi energi listrik pengganti bahan bakar solar merupakan langkah strategis menuju pembangunan berkelanjutan (*sustainable growth*) dan upaya perbaikan terus-menerus (*continuous improvement*).

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kelapa Sawit

Limbah kelapa sawit mempunyai beberapa manfaat seperti yang dinyatakan oleh Widhiastuti et al. (2006) yaitu dapat dijadikan pupuk karena pemberian LCPKS pada lahan perkebunan kelapa sawit dapat meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah, meningkatkan biodiversitas tumbuhan penutup tanah, meningkatkan biodiversitas makrofauna dan mikro fauna tanah.

Berdasarkan hasil penelitian Tambunan (2016) bahwa aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dengan metoda biopori pada umur 21 bulan sampai 24 bulan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman kelapa sawit belum menghasilkan dan mendapatkan dosis yang sesuai yaitu dengan dosis 5 Liter limbah cair pabrik kelapa sawit.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Demson dkk, 2019) menunjukkan bahwa pemberian LCPKS dosis 5,0 liter dengan satu lubang, dua lubang, tiga lubang dan empat lubang biopori/tanaman meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman sekitar tiga sampai empat kali dan peningkatannya lebih besar yaitu lima sampai delapan kali bila dosisnya ditingkatkan hingga 7,5 liter dan pada dosis 10,0 liter peningkatan pertumbuhan tinggi tanaman cenderung menurun yaitu lima sampai enam kali dibandingkan tanpa perlakuan. Adapun pertumbuhan tinggi tanaman tertinggi diperoleh pada pemberian LCPKS dosis 7,5 Liter dengan 3 lubang biopori/tanaman. Hal ini disebabkan adanya perbaikan sifat-sifat fisik, kimia dan biologi tanah akibat pemberian LCPKS.

Semakin banyak biopori maka penyebaran LCPKS didalam tanah semakin luas dan merata.

Adapun LCPKS dalam tanah berperan untuk memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, meningkatkan biodiversitas tumbuhan penutup tanah, meningkatkan biodiversitas makrofauna dan mikro fauna tanah (Widhiastuti et. al, 2006). Pemberian LCPKS sendiri dapat meningkatkan jumlah dan ketersediaan unsur hara N, P, K, Mg dan Ca yang mendukung pertumbuhan tanaman. Selain unsur hara makro dan mikro LCPKS juga mengandung mikroorganisme pengurai. Menurut Hakim et al., (1986) peranan utama mikroorganisme adalah untuk merombak bahan organik menjadi bentuk senyawa yang dapat dimanfaatkan tanaman. Hal ini juga sejalan dengan pendapat Subowo (2010) bahwa bahan organik dapat memperbaiki sifat fisik tanah seperti struktur, aerasi dan porositas tanah.

Hasil pengamatan dari penelitian yang dilakukan oleh Gusta dkk, (2014) menunjukkan bahwa aplikasi LCPKS dosis 7,5 Liter dalam 4 biopori/tanaman meningkatkan penambahan jumlah pelepah dan daun, lebar dan panjang daun dibandingkan dengan tanpa LCPKS dan tertinggi dari perlakuan lain, tetapi penambahan tinggi tanaman pada aplikasi LCPKS dosis 7,5 Liter dalam 3 biopori/tanaman dan tertinggi dari perlakuan lainnya

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Bioaktivator Untuk Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit

POME dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian di mana dapat diubah menjadi bahan yang bermanfaat melalui proses mikroba. POME mengandung konsentrasi protein tinggi, senyawa nitrogen, karbohidrat, lipid dan mineral yang berfungsi sebagai sumber makanan untuk mikroorganisme. Perubahan POME dapat melalui proses anaerobik di mana mikroorganisme memecah bahan biodegradable dengan tidak adanya oksigen. (S. Adam, S.S.N. Syd Ahmad, N.M. Hamzah, N.A. Darus, N.M. Hamzah, N.A. Darus, 2016).

Proses fermentasi limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi larutan mol POME mengakibatkan perubahan pH larutan. Berdasarkan hasil analisis, larutan mol mengalami penurunan pH dari awalnya limbah pome memiliki pH 7,20 setelah mengalami fermentasi menjadi mol pH mengalami penurunan menjadi 3,37. Air limbah termasuk konstituen terlarut dengan konsentrasi tinggi protein, karbohidrat, senyawa nitrogen, lipid dan mineral, yang dapat diubah menjadi bahan yang bermanfaat menggunakan proses mikroba.

Proses fermentasi larutan mol POME mengakibatkan perubahan kandungan unsur hara dalam hal ini adalah kandungan nitrogen (%). Proses fermentasi yang terjadi pada larutan mol

POME mengakibatkan unsur nitrogen mengalami penurunan dari 0,37 % pada limbah cair POME menjadi 0,05 % pada larutan Mol POME. Ditambahkan oleh Buckle et al. (1987) dalam Supriyati, T, dkk (1998) menyatakan bahwa untuk hidup semua organisme membutuhkan sumber energi yang diperoleh dari metabolisme bahan pangan tempat organisme berada di dalamnya, dalam hal ini adalah larutan mol POME.

Proses fermentasi larutan mol POME mengakibatkan perubahan kandungan unsur hara dalam hal ini adalah kandungan P_2O_5 total (%). Berdasarkan hasil analisis laboratorium, unsur Fosfor mengalami peningkatan dari limbah pome P_2O_5 total sebesar 0,01% meningkat menjadi 0,02% setelah larutan pome dibuat menjadi mol. Proses fermentasi larutan mol POME mengakibatkan perubahan kandungan unsur hara dalam hal ini adalah kandungan K_2O total (%).

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, unsur kalium mengalami peningkatan dari limbah pome K_2O total sebesar 0,19 % meningkat menjadi 0,27 % setelah larutan pome dibuat menjadi mol. Dalam pembuatan mol aktivitas mikroba memiliki peranan penting. Mikroba berfungsi untuk merombak bahan organik (dekomposer), nitrifikasi, denitrifikasi, pelarut fosfat, dan lain-lain. Proses fermentasi larutan mol POME mengakibatkan perubahan kandungan unsur hara dalam hal ini adalah kandungan karbon organik. Berdasarkan hasil analisis laboratorium diperoleh bahwa terjadi peningkatan kandungan C organik setelah proses pembuatan larutan mol, hal ini disebabkan karena penambahan bahan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Zainudin dan Abdul Rofik Hasil analisis menunjukkan setelah proses pembuatan mol POME bahwa: Hasil analisis POME menunjukkan terjadi peningkatan sifat kimia seperti fosfor dari 0,01 menjadi 0,02, kalium dari 0,19 menjadi 0,27, dan karbon organik dari 0,90 menjadi 1,30, tetapi beberapa sifat kimia seperti pH menurun dari 7,20 menjadi 3,37 dan nitrogen menurun dari 0,37 menjadi 0,05. Hasil analisis kompos tandan kosong kelapa sawit menunjukkan bahwa pH tertinggi adalah p2 dengan nilai 8,23, C organik tertinggi pada perlakuan p4 dengan nilai 57,65, N total tertinggi pada p3 dengan nilai 1,80, P_2O_5 total tertinggi pada p3 dengan nilai 0,64, dan K_2O total tertinggi pada p4 dengan nilai 2,68.

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Untuk Meningkatkan Kualitas Lahan Kebun

Kebun dan pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan limbah padat dan cair (*palm mill oil effluent*, POME) dalam jumlah yang sangat besar, sehingga harus diolah. Pengolahan POME secara anaerobik dapat menghasilkan biogas dan dapat

menurunkan nilai TSS. Tetapi nilai TSS yang dihasilkan dari pengolahan anaerobik masih terlalu tinggi untuk dapat dibuang ke badan air, yaitu sekitar 400 mg/l. Oleh karena itu masih diperlukan pengolahan lanjut dengan bantuan Effective Microorganism (EM).

POME adalah limbah cair kelapa sawit yang masih mengandung banyak padatan terlarut. Sebagian besar padatan terlarut ini berasal dari material lignoselulosa mengandung minyak yang berasal dari buah sawit. Lignoselulosa dalam POME adalah penyusun terbanyak dari tanaman berkayu. Lignoselulosa terdiri dari lignin, hemiselulosa, dan material berselulosa. Kandungan kimiawi dari lignoselulosa ini membuat mereka bernilai tinggi dari segi bioteknologi, kebanyakan dari limbah lignoselulosa ini dibuang langsung dengan cara pembakaran, dimana hal ini tidak dilarang di negara berkembang.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Irvan dkk pada penyisihan TSS dengan hari pada tangki kedua dengan kecepatan putaran pengaduk 20 rpm dapat diketahui bahwa nilai TSS dengan penggunaan EM yang diperoleh pada percobaan, cenderung menurun seiring dengan bertambahnya hari. Sedangkan nilai TSS tanpa penggunaan EM yang diperoleh cenderung naik seiring dengan bertambahnya hari. Nilai TSS dengan penggunaan EM cenderung menjadi lebih stabil pada hari-22 dan mulai naik pada hari ke-30.

Seiring dengan bertambahnya hari, maka kadar TSS akan semakin menurun, kemudian akan menjadi stabil, naik lagi, dan akhirnya akan turun. Hal ini sejalan dengan teori, dimana naik turunnya nilai TSS disebabkan kinerja bakteri EM. Bakteri akan mengurai padatan yang terkandung dalam POME dan mengubahnya menjadi zat makanan, sehingga nilai TSS pada tangki akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya hari, dan pada akhirnya akan menjadi stabil dan naik sedikit, disebabkan kematian bakteri pengurai yang akan meningkatkan nilai TSS.

Adapun kesimpulan yang didapat sebagai berikut: Semakin tinggi kecepatan pengaduk (20 rpm), maka kinerja bakteri dalam mengurai TSS semakin rendah. Nilai TSS baik pada tangki dengan kecepatan putaran 10 rpm dan 20 rpm cenderung menurun seiring dengan waktu. Nilai TSS dengan penggunaan EM jauh lebih rendah daripada tanpa penggunaan EM. Nilai TSS yang berkisar 200 mg/L sudah dapat langsung dibuang ke badan air.

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Terhadap Peningkatan Sifat Fisik Tanah.

Limbah cair kelapa sawit adalah salah satu jenis limbah kelapa sawit yang berpotensi untuk digunakan kembali untuk meningkatkan kualitas lahan dan mendukung pertumbuhan perkebunan

kelapa sawit itu sendiri, mengingat potensi limbah ini cukup besar dan unsur-unsur yang dibutuhkan sangat penting untuk meningkatkan kesuburan kimia dan fisika tanah. Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah cair kelapa sawit (LCPKS) terhadap peningkatan beberapa sifat fisik tanah.

Penelitian dilakukan pada area perkebunan kelapa sawit yang diaplikasikan pada limbah cair, dengan mengamati sampel tanah pada dua ke dalam tanah (0-30 cm dan 30-60 cm). Pengambilan sampel tanah dilakukan di tiga titik pengambilan sampel, yaitu: dekat parit aplikasi pembuangan limbah, antara tanaman kelapa sawit dan di lokasi kontrol. Parameter sifat fisik tanah yang diamati meliputi: permeabilitas, porositas, tekstur dan berat isi tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah cair berpengaruh dalam meningkatkan nilai porositas tanah (1,3 hingga 18,25% dan permeabilitas tanah (25,75% menjadi 78,7%), dan menurunkan nilai bobot tanah (1,77 menjadi 40,24%), sedangkan tekstur tidak berpengaruh, dimana hasil penentuan tekstur sebelum aplikasi dan sesudah aplikasi memiliki kelas tekstur yang sama, yaitu lempung berpasir hingga lempung lempung berpasir.

Pemanfaatan LCPKS pada lahan memberikan pengaruh terhadap bobot isi, ruang pori total dan tekstur tanah. Pengaruh pemberian LCPKS pada lahan terhadap sifat fisik tanah pada lapisan atas (0-30cm) dapat menurunkan bobot isi tanah dan meningkatkan porositas tanah. Sedangkan pada lapisan bawah (30-60cm) terjadi sebaliknya. Pemberian LCPKS pada lahan juga turut meningkatkan pergerakan koloid tanah dari lapisan permukaan ke lapisan di bawahnya dan membantu pelapukan lanjut pada fraksi debu menjadi liatsehingga mempengaruhi tekstur tanah terutama pada lapisan bawah (30- 60cm).

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Sabun

Saat ini industri pengolahan kelapa sawit di Indonesia terus mengalami peningkatan. Pada pengolahan minyak kelapa sawit terdapat angka kehilangan produksi (*losses*) atau sering disebut sebagai limbah minyak kelapa sawit (Ketaren, 1986). Dengan semakin banyaknya proses pengolahan minyak kelapa sawit menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan akan semakin meningkat pula. Industri minyak kelapa sawit merupakan industri yang menghasilkan limbah cair dengan kandungan organik sangat tinggi (Tim Penulis, 2000). Tingginya kadar tersebut menimbulkan beban pencemaran lingkungan yang besar, karena diperlukan degradasi bahan organik yang lebih besar pula. Sehingga perlu dilakukan pengolahan limbah lebih lanjut guna mengurangi

atau menghilangkan pencemaran oleh limbah tersebut, salah satunya dengan cara pemanfaatan limbah (*waste re-use*), dengan usaha untuk dapat menggunakan kembali zat-zat yang terkandung pada air limbah. Salah satunya dengan menjadikan limbah CPO sebagai bahan baku dalam pembuatan sabun.

Sabun adalah garam logam alkali yang tersusun dari lemak atau minyak yang bereaksi dengan basa logam alkali (NaOH atau KOH). Lemak dipanaskan dengan NaOH sehingga terhidrolisis menjadi gliserol dan garam natrium dari asam lemak. Reaksi pembentukannya disebut dengan reaksi saponifikasi (penyabunan). Sabun termasuk dalam kelas umum senyawa yang disebut surfaktan, yang merupakan senyawa yang dapat menurunkan tegangan permukaan air serta mempunyai kemampuan untuk mengemulsi kotoran berminyak (Fessenden, 1986).

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ady Mara maka dapat disimpulkan bahwa Sabun limbah CPO memiliki karakteristik kadar air 19,5123% (b/b), alkali bebas 0,7443% (b/v), lemak tak tersabunkan 3,8438% (b/v), minyak 9,2856% (b/b) dan bilangan penyabunannya 89,7549 (mg KOH/g minyak), konsentrasi pelarutan terbaik sabun limbah CPO yaitu 4,5% (b/v) dengan selisih tegangan permukaan sebesar 0,01086 dyne/cm pada pH sebesar 12,62 dan konduktivitas sebesar $18,28 \Omega^{-1} m^{-1}$.

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Organik

Pabrik pengolahan kelapa sawit menghasilkan tiga jenis limbah yaitu limbah padat, cair dan gas (Wahyudi et al. 2011). Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) merupakan limbah yang paling banyak dihasilkan dari tandan segar buah kelapa sawit. Menurut (Budianta, 2004) dari satu tandan buah segar kelapa sawit sekitar 60% adalah LCPKS. LCPKS lebih terkenal dengan nama POME (*Palm Oil Mill Effluent*). POME adalah salah satu limbah utama industri kelapa sawit yang memiliki potensi pencemaran lingkungan yang paling bermasalah di antara limbah pabrik lainnya (Ibe et al. 2014). (Hartley, 2004) dan (Roslan dkk, 2009) mengungkapkan bahwa POME buangan dari pabrik kelapa sawit dapat mencemari sungai dan tanah di sekitarnya karena memiliki pH rendah, kandungan minyak dan lemak serta bahan pencemar lainnya yang tinggi.

Pembibitan kelapa sawit merupakan titik awal yang paling menentukan masa depan pertumbuhan kelapa sawit di lapangan. Untuk mempercepat pertumbuhan dan meningkatkan kualitas bibit kelapa sawit dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan pemupukan. Pemupukan adalah suatu cara

pemberian atau penambahan zat-zat pada kompleks tanah untuk melengkapi keadaan makanan atau unsur hara yang tidak cukup terkandung dalam tanah. Pemupukan yang baik melibatkan dosis pupuk yang tepat. Ketepatan dosis dan waktu aplikasi sangat menentukan efisiensi pemupukan (Novizan, 2008).

Harga pupuk yang begitu tinggi seperti saat sekarang ini akan berpengaruh terhadap meningkatnya beban petani ataupun perusahaan perkebunan dalam menyediakan pupuk setiap bulannya. Upaya-upaya untuk mencari sumber hara lain menjadi sangat penting karena semakin mahalnya harga pupuk konvensional. Pemanfaatan Endapan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (ELCPKS) merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk memenuhi unsur hara tumbuhan. Diperkirakan 0,65 ton ELCPKS dihasilkan setiap satu ton tandan buah segar yang diolah. Pada tahun 2003 total tandan buah segar yang diolah sebesar 2.106.956 ton dan dihasilkan 1.369.521 ton ELCPKS (Lubis, 2008).

Perlakuan ELCPKS dan kapur dolomit memberikan peningkatan terhadap pertumbuhan tinggi tanaman. Tanaman yang tidak diberikan perlakuan pertumbuhan tinggi tanaman lebih rendah 25,93 cm. Semakin tinggi perlakuan yang diberikan maka respon tanaman semakin baik. Pertumbuhan tinggi tanaman terbaik pada perlakuan ELCPKS 75 g/polybag dan kapur dolomit 18 g/polybag 40,33. Hal ini disebabkan pemberian ELCPKS dapat memenuhi kebutuhan unsur hara pada tanaman, ELCPKS memiliki kandungan unsur hara seperti N, P, K dan Mg semakin meningkat tersedia pada tanah sehingga dapat memenuhi kebutuhan unsur hara di tanah. Menurut Novizan, (2005) peran unsur hara pada tanaman diperlukan untuk proses pembelahan Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi ELCPKS dan kapur dolomit, perlakuan ELCPKS dan kapur dolomit menunjukkan berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman. Ratarata pertumbuhan tinggi tanaman yang telah diuji lanjut dengan DNMR pada taraf 5% dan perpanjangan sel, selain itu unsur juga berperan dalam pembentukan klorofil yang diperlukan dalam proses fotosintesis untuk menghasilkan karbohidrat.

Berdasarkan hasil analisis beberapa unsur hara yang terkandung pada ELCPKS adalah N, P dan K yang cukup tinggi. Unsur hara tersebut dalam budidaya kelapa sawit merupakan hara yang sangat dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan dan produksi buah (Said, 1996). Menurut (Suprpto,1998), pengapuran dapat meningkatkan pH, meningkatkan aktifitas mikro organisme di tanah sehingga memperbaiki sifat biologi tanah. Pemberian dolomit juga dapat menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman seperti K, Ca dan

Mg. Pada pertumbuhan vegetatif Ca diserap oleh tanaman dalam jumlah yang besar.

Nutrisi yang dimiliki POME sangat dibutuhkan oleh tanaman, menurut (Deublein dan Steinhauer,2008), POME kaya akan senyawa organik dan karbondioksida. POME mengandung sejumlah besar nitrogen, fosfat, kalsium, magnesium, dan kalium sehingga dapat digunakan sebagai pupuk. Kandungan hara POME banyak dibutuhkan di lahan terdegradasi seperti lahan pasca tambang batubara. POME menurut (Hetrick dkk,2009) memiliki kandungan hara makro yang sangat rendah, terutama kandungan N, P, K, Na, dan Ca, tingkat kemasaman tanah (pH) dan kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah, serta hilangnya flora, fauna, dan mikroorganisme tanah. Hasil analisis kolam inlet dan outlet PT. BSP tergolong lebih rendah jika dibandingkan hasil penelitian terdahulu yaitu, (Budianta,2004) yang meneliti POME dari PT. Maskapai Perkebunan Leidong West Indonesia.

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel

Selama ini limbah cair dalam setiap pabrik pengolahan CPO (Crude Palm Oil) belum banyak dimanfaatkan sehingga dibuang kelingkungan dan cenderung mencemari lingkungan. Jumlah minyak limbah yang cukup besar pada pengolahan minyak kelapa sawit merupakan sumber bahan baku yang cukup potensial untuk dijadikan bahan bakar nabati (BBN) yang murah dan pemakaiannya tidak bersaing dengan kebutuhan pokok manusia (Setiadi & Fitriani, M, 2006). Pada limbah cair kelapa sawit banyak terdapat asam lemak bebas yang dapat menghambat proses pembuatan biodiesel, maka untuk menetralkan asam lemak bebas tersebut maka diperlukan perlakuan yang disebut esterifikasi dan selanjutnya di reaksikan dengan transesterifikasi. Pada reaksi esterifikasi, katalis yang cocok adalah zat berkarakter asam kuat seperti BF₃, kelebihan dari BF₃ ini yaitu hasil akhir (solar) sangat optimal tetapi harga BF₃ itu sendiri sangatlah mahal sehingga susah untuk menarik perhatian masyarakat untuk membeli biodiesel ini. Pada kesempatan penelitian ini peneliti akan mencoba varian katalis asam yang lain, yang harganya lebih terjangkau dan mencoba beberapa waktu yang tepat agar hasil akhir sangat optimal. Pada limbah cair kelapa sawit banyak terdapat asam lemak bebas yang dapat menghambat proses pembuatan biodiesel, maka untuk menetralkan asam lemak bebas tersebut maka diperlukan perlakuan yang disebut esterifikasi dan selanjutnya di reaksikan dengan transesterifikasi. Pada reaksi esterifikasi, katalis yang cocok adalah zat berkarakter asam kuat seperti BF₃, kelebihan dari BF₃ ini yaitu hasil akhir (solar) sangat optimal tetapi harga BF₃ itu sendiri sangatlah mahal

sehingga sulit untuk menarik perhatian masyarakat untuk membeli biodiesel ini.

Menurut (Heriwibowo, 2009) mutu biodiesel dipengaruhi oleh mutu bahan baku selama pengolahan dan penyimpanan. Kandungan ALB dan kadar air yang tinggi dalam bahan baku (minyak limbah PMKS) dapat menurunkan mutu biodiesel. ALB yang tinggi menyebabkan terjadinya blocking reaksi pembentukan metil ester, yaitu methanol yang seharusnya bereaksi dengan trigleserida terhalang oleh reaksi pembentukan sabun yang terbentuk oleh katalis basa kuat dengan asam lemak bebas (Sudaryono dan Budiyanto, 2011). Sedangkan kadar air yang tinggi baik dalam bahan baku maupun dalam alkohol pereaksi dapat menyebabkan kerja katalis kurang baik, sehingga mutu biodiesel yang dihasilkan kurang bermutu. Hal ini disebabkan terjadinya reaksi antara katalis dengan air, bukan dengan minyak (Heriwibowo, 2009).

Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Energi Terbarukan

Pabrik kelapa sawit selain menghasilkan produk utama CPO juga mengeluarkan limbah tandan kosong, serat, cangkang, abu, dan limbah cair kelapa sawit (palm oil mill effluent, POME). Dari beberapa peneliti menyatakan bahwa banyak POME yang dihasilkan sekitar 0,62-0,77 m³ /ton TBS (4,5,6,7,8,9). Sampai saat ini, limbah POME masih menjadi permasalahan lingkungan pabrik kelapa sawit karena volumenya yang besar dan belum dimanfaatkan dengan baik. Namun di sisi lain, POME memiliki nilai positif bagi keberlanjutan industri sawit bila dimanfaatkan dengan baik.

Ditinjau dari konsumsi energi pada setiap tahapnya, maka total persentase energi input yang diperlukan dari tahap budidaya, produksi CPO dan produksi biodiesel adalah 30, 24,5 dan 45,5%. Pada tahap budidaya, variabel yang berkontribusi besar menyerap energi adalah penggunaan pupuk N (urea) yang mencapai 2.490 MJ. Pada tahap produksi CPO, variabel yang dominan menyerap energi adalah variabel penggunaan listrik dan steam yang mencapai 2.765 MJ. Listrik dan steam ini digunakan pada proses sterilisasi TBS dan proses klarifikasi minyak. Pada tahap produksi biodiesel, penggunaan metanol mendominasi penyerapan energi yakni sebesar 4.690 MJ.

Potensi emisi karbon yang dapat diselamatkan dengan memanfaatkan limbah POME adalah 126,4 kg/ton atau mengurangi emisi sebesar 8,2 % dari total emisi yang dikeluarkan. Nilai kisaran ini sangat besar bila dikaitkan dengan jumlah total produksi biodiesel skala besar. Sebagai ilustrasi misalnya pabrik kelapa sawit dengan kapasitas olah TBS 60 ton/jam masa kerja 16

jam/hari, maka diperkirakan biodiesel yang diproduksi adalah 280 ton/hari atau 6.260,8 ton/bulan. Dari kapasitas total produksi pabrik tersebut maka bila pabrik mengolah POME-nya emisi karbon yang bisa diselamatkan setiap bulan dan setiap tahun adalah 26,4 ton dan 791,2 ton CO₂.

Pemanfaatan limbah cair (POME) dari proses produksi biodiesel kelapa sawit merupakan salah satu inovasi teknologi untuk meningkatkan nilai produk dari kelapa sawit sekaligus menciptakan kondisi yang baik untuk keberlanjutan industri kelapa sawit. Ada pun keuntungan sekaligus yang diperoleh dari inovasi tersebut yaitu adanya tambahan energi terbarukan dan penyelamatan gas karbon dioksida. Tambahan energi yang didapat sekitar 411,7 MJ/FU atau menaikkan net energy ratio (NER) sebesar 3,4 % dari nilai yang biasanya. Sedangkan emisi gas karbon yang diselamatkan adalah sebesar 126,4 kg/FU atau mengurangi emisi karbon sekitar 8,2 % dari nilai yang biasanya.

KESIMPULAN

Berbagai penelitian tentang limbah cair kelapa sawit di Indonesia sangat memungkinkan kedepannya limbah cair kelapa sawit dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin karena pemanfaatan limbah cair dapat meningkatkan nilai tambah limbah itu sendiri antara lain dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembangkit listrik tenaga biogas, pupuk organik, sabun, dan sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar nabati (BBN) yaitu biodiesel dengan berbagai proses, dimana untuk meningkatkan nilai produk dari kelapa sawit sekaligus menciptakan kondisi yang baik untuk keberlanjutan industri kelapa sawit. Selain itu limbah cair pabrik pengolahan kelapa sawit mengandung unsur hara yang tinggi seperti N, P, K, Mg, dan Ca, sehingga limbah cair tersebut berpeluang untuk digunakan sebagai sumber hara bagi tanaman kelapa sawit, di samping memberikan kelembaban tanah, juga dapat meningkatkan sifat fisik-kimia tanah, serta dapat meningkatkan status hara tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Wijono. 2017. Balai Teknologi Bahan Bakar & Rekayasa Disain, Badan Pengkajian & Penerapan Teknologi Gedung 480, Tangerang Selatan.
- Ariadi H, D. Reni, Yulastri. 2017. Aplikasi Plasma Dengan Metoda Dielectric Barrier Discharge (DBD) untuk Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit.
- Balai Penelitian Tanaman Palm. 2014. Pemanfaatan Lahan Bekas Tambang Batubara untuk Pengembangan Sagu. Manado (ID):56-63.

- Budianta D. 2004. Pengaruh pemberian limbah cair pabrik kelapa sawit untuk pupuk cair terhadap kualitas air. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan & SDA*. 2(3):147-154.
- Doublein D, Steinhaster A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim.
- Farha, Indah F, Kusumawati N. 2012. Pembuatan Membran Komposit Kitosan-PVA dan Pemanfaatannya pada Pemisahan Limbah Pewarna Rhodamin-B. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa*. Surabaya.
- Fessenden. 1986. *Kimia Organik, Edisi Ketiga, Jilid II*, Penerbit Erlangga, Jakarta. Hal. 406, 410, 411.
- Firmansyah, A dan Saputra, A. 2001. *Pengolahan Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Membran Anaerob*.
- Ginting, P. 2007. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. Yrama Widya, Bandung.
- Grady, C. P. L., G. T. Daigger, & H. C. Lim. 1999. *Biological Wastewater Treatment*. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Hartley CWS. 2004. Environmental impact of oil palm plantations in Malaysia. *Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM). Occasional Paper*. 33:1-27.
- Heriwibowo, N. 2009. *Kajian Pengolahan Minyak Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) Menjadi Biodiesel Melalui Reaksi Transesterifikasi Dua Tahap Dengan Metanol Menggunakan Katalis BF₃ dan NaOH*. Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu.
- Hetric BAD, Wilson GWT, Figge DAH. 1994. The influence of mycorrhizal symbiosis and fertilizer amendments on establishment of vegetation in heavy metal mine spoil. *Environmental Pollution*. 86:171-179.
- Ibe II, Oblige JN, Orji Jc, Nwanze PL, Ibejisika C, Okechi BN. 2014. Effects of palm oil mill effluent (POME) on soil bacteria and enzymes at different season. *Int. J. Curr Microbial. App. Sci*. 3(10): 928-934.
- Irvan, Trisakti B, Wongistani V, Tomiuchi Y. 2012. Methane from digestion of palm oil mill effluent (POME) in a thermophilic anaerobic reactor. *International Journal of Science and Engineering*. 3(1): 32-35.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup. Kep – 51 / MENLH/ 10/ 1995. *Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri*.
- Ketaren S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, UIPress, Jakarta. Hal. 252 – 257.
- Lubis, A. R. 2008. *Kelapa Sawit di Indonesia*. Pusat Penelitian Bandar Kuala Marihat Pematang Siantar. Sumatra Utara.
- Naibaho, Ponten M. 1996. *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*, Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Novizan. 2008. *Petunjuk Penggunaan Pupuk Yang Efektif*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Omer, AM. 2007. Organic Waste Treatment for Power Production and Energy Supply. *Journal of Cell and Animal Biology*, Vol 1 No: 2, 034-047.
- Renata, Erisna A, Putri. 2014. *Pengolahan Limbah Cair Kain Jumputan dengan Menggunakan Membran Kitosan-PVA*. Laporan Akhir Polsri.
- Roslan AM, Hassan MA, Aziz SA, Yee PL. 2009. Effect of palm oil mill effluent supplementation on cellulase production from rice straw by local fungal isolates. *International Journal of Agriculture Research*. 4: 185-192.
- Said, E.G. 1996. *Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa sawit*. Trubus. Agriwidya. Bogor.
- Suprpto, dan A.M. Fagi. 1998. Pengaruh Kalium Anorganik Dan Organik Terhadap Hasil Padi Sawah. *Reflektor* 6 (1-2): 13-17. Balittan Sukamandi.
- Sri Rahayu, Ade. dkk. 2015. *Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas*. USAID dan Winrock Internasional.
- Subowo, G. 2010. Strategi efisiensi penggunaan bahan organik untuk kesuburan dan produktivitas tanah melalui pemberdayaan sumber daya hayati tanah. *Jurnal sumber daya lahan*. 4(1): 13-25.
- Statistik Perkebunan Indonesia. *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2015-2017*. Direktorat Jendral Perkebunan. Kementerian Pertanian.
- Tambunan, J. 2016. *Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dengan metoda biopori terhadap pertumbuhan tanaman kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) Universitas Riau*. Pekanbaru.
- Tim Penulis Ps. 2000. *Kelapa Sawit: Usaha Budidaya Pemanfaatan Hasil dan Aspek Pemasaran*, Penerbit Swadaya, Jakarta.
- Tuty Emilia Agustina, Budi Sulistyono, Rendotian Anugrah. 2019. *Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya*.
- Wahyudi H, Kasry A, Purwaningsih IS. 2011. Pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit untuk memenuhi kebutuhan unsur hara dalam budidaya tanaman jagung (*Zea mays L.*). *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 5(2):94-102.

- Wan Yudhi Irwansyah, Danial, Ayong Hiendro. 2016. Potensi Pemanfaatan Palm Oil Mill Effluent (POME) Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) di PKS PT. Fajar Saudara Kusuma. Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- Widhiastuti, R., D. Suryanto, Mukhlis, H. Wahyuningsih. 2006. Pengaruh pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit sebagai pupuk terhadap biodiversitas tanah. *Jurnal Ilmiah Pertanian Kultura*.
- Widiatmini Sih Winanti, Prasetyadi, Wiharja. 2019. Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Gedung Geostech 820, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan.