

STUDI PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT

Andi Haryanti, Norsamsi, Putri Suci Fanny Sholiha, Novy Pralisa Putri*

Program Studi Teknik Kimia Universitas Mulawarman Samarinda

Jl. Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, Kalimantan Timur

*E-mail: np.putri@ft.unmul.ac.id

Abstrak- Setiap tahunnya produksi kelapa sawit makin meningkat, sehingga akan terjadi peningkatan juga pada limbah kelapa sawit. Limbah kelapa sawit adalah sisa-sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit. Limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, cangkang dan sabut, dimana pada 1 ton kelapa sawit menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang sebanyak 6,5% atau 65 kg, sabut 13% atau 130 kg. Umumnya limbah padat industri kelapa sawit mengandung bahan organik yang tinggi sehingga jika penanganan limbah secara tidak tepat akan mencemari lingkungan. Pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dimanfaatkan sebagai PLT biomassa, pupuk dan bioetanol. Untuk cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai karbon/arang aktif, pembuatan pupuk cair kalium sulfat, pengawet alami tahu, bahan bakar (biomassa), briket. Untuk sabut kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan penguat sifat mekanik komposit, fiber glass, pengolah limbah cair, pembuatan pulp, media tanaman alternatif, alternatif pengganti solar dan batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Masih banyak yang bisa di lakukan untuk pemanfaatan limbah padat kelapa sawit dengan dilakukan penelitian.

Kata Kunci: limbah padat kelapa sawit, TKKS, cangkang kelapa sawit, sabut kelapa sawit

Abstract- Each year, palm oil production increased, so that there will be an increase also in palm oil waste. Waste of palm oil crops are not included in the main product or a by-product of the processing of palm oil. Solid waste can be either oil palm empty fruit bunches, shells and fiber (coir), which on 1 ton of palm oil generates waste in the form of empty fruit bunches of oil pam as much as 23% or 230 kg, the waste shell as much as 6.5% or 65 kg, coir (fiber) 13% or 130 kg. Generally palm oil industrial solid waste contain organic matter so that if the improper handling of waste will pollute the environment. In the oil palm empty fruit bunches (EFB) PLT can be used as biomass, manure and bioethanol. For palm kernel shells can be used as a carbon/charcoal, liquid potassium sulphate fertilizer production, and natural preservatives. To coir (fiber) palm oil can be used as a reinforcing material for the mechanical properties of the composite, fiber glass, liquid waste processing, manufacture of pulp, media alternative crops, alternative to diesel and coal as fuel for electricity generation. There is still much that can be done for solid waste utilization of palm oil by doing a research.

Keywords: solid waste of palm oil, EFB, palm kernel shells, fiber of palm oil

PENDAHULUAN

Tanaman kelapa sawit merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang menduduki posisi penting dalam sektor pertanian dan sektor perkebunan. Kelapa sawit merupakan komoditi andalan Indonesia yang perkembangannya demikian pesat. Lahan yang optimal untuk kelapa sawit harus mengacu pada tiga faktor yaitu lingkungan, sifat fisik lahan dan sifat kimia tanah atau kesuburan tanah. Tanaman kelapa sawit di perkebunan komersial dapat tumbuh dengan baik pada kisaran suhu 24-28°C. Untuk memperoleh hasil maksimal dalam budidaya kelapa sawit perlu memperhatikan sifat fisik dan kimia tanah di

antaranya struktur tanah dan drainase tanah baik (Pahan, 2006).

Sejalan dengan semakin meningkatnya produksi kelapa sawit dari tahun ke tahun, akan terjadi pula peningkatan volume limbahnya. Umumnya limbah padat industri kelapa sawit mengandung bahan organik yang tinggi sehingga berdampak pada pencemaran lingkungan. Penanganan limbah secara tidak tepat akan mencemari lingkungan. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengolah dan meningkatkan nilai ekonomi limbah padat kelapa sawit. Limbah kelapa sawit adalah sisa-sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari proses

pengolahan kelapa sawit baik berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, cangkang dan *fiber* (sabut).

Diketahui untuk 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (*shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50% (Mandiri, 2012). TKKS mengandung berbagai unsur hara makro dan mikro yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman, antara lain: 42,8% C, 2,9% K₂O, 0,8% N, 0,22% P₂O₅, 0,30% MgO, 23 ppm Cu, dan 51 ppm Zn (Singh dkk., 1989). Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit (Padil, 2010). Cangkang sawit merupakan limbah dari hasil pengolahan minyak kelapa sawit yang belum dimanfaatkan secara optimal (Yarman, 2006). Sabut kelapa sawit mengandung nutrient, fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan karbon (C), sehingga limbah ini dapat menjadi sumber pertumbuhan bakteri, dimana bakteri dapat juga digunakan dalam proses pengolahan limbah (Manusawai, 2011).

PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT

Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa

Kelapa Sawit merupakan salah satu tanaman budidaya penghasil minyak nabati berupa *Crude Palm Oil* (CPO), sangat banyak ditanam dalam perkebunan di Indonesia terutama di pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua. Selain menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO), dalam proses pengolahan kelapa sawit selain menghasilkan CPO juga menghasilkan limbah sangat banyak. Diketahui untuk 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (*Shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50% (Mandiri, 2012).

Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat yang dihasilkan dalam jumlah cukup besar yaitu sekitar 126.317,54 ton/tahun (Mandiri, 2012), namun pemanfaatannya masih terbatas, sementara ini hanya dibakar dan sebagian dihamparkan pada lahan kosong sebagai mulsa/pupuk, di kawasan sekitar pabrik. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki potensi besar untuk dijadikan bahan bakar nabati (BBN), bisa menjadi bioetanol dan

bahan bakar pembangkit listrik tenaga biomassa (PLT Biomassa) (Permata, 2005).

Hasil uji laboratorium terhadap limbah TKKS di Distrik Jair, Kabupaten Boven Digoel, Provinsi Papua memiliki jumlah kalor sebesar 4.492,7436 kalori/g (4.492,7436 Kkal/kg) atau 18.719,4656 joule/g serta mengandung pati 11,550 % bb dan mengandung selulosa 41,392 % bb, sangat cocok untuk dijadikan bahan bakar tersebut (Lab. Kimia ITB, 2010). Bahkan TKKS hasil perhitungan akan dapat membangkitkan listrik sebesar 7,33 MW.

Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Pupuk

Pembuatan kompos juga berpengaruh pada penambahan berbagai macam *activator*. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Jaka darma dkk, 2014), mereka mengaplikasikan pembuatan kompos dengan penambahan *activator* EM-4 dan mencampurkannya dengan variasi bahan yang beragam berupa pupuk kandang, dedak air sumur, air kelapa dan TKKS. Berdasarkan hasil pengamatan tekstur dan hasil pengomposan serta hasil pengaplikasian terhadap tanaman cabe dan jagung, diketahui bahwa kompos dengan komposisi pupuk kandang 0,5 kg, dedak 0,5 kg, air sumur 2 liter, air kelapa 0,1 liter, EM-4 0,1 liter, TKKS 10 kg adalah kompos terbaik karena memenuhi dan bahkan melebihi standar kompos SNI 19-7030-2004 tentang kandungan N total 0,40% dan P total 0,1%, sedangkan dari hasil pengujian laboratorium terhadap kompos C menunjukkan bahwa kandungan N total 0,2725% dan P 1,30%. Dan pengaplikasian yang dilakukan juga dibandingkan tanaman cabe dan jagung yang diberi pupuk kompos TKKS adalah lebih berat dibandingkan dengan tanaman yang diberi pupuk yang lain.

Selain itu, pembuatan kompos dari TKKS sendiri juga dapat menggunakan penambahan media jamur. Pada penelitian yang dilakukan Venny dan Lia menggunakan media jamur merang (*volvariella volvacea*) dengan penambahan *aktivator* EM-4 guna meningkatkan kadar N, P dan K serta menurunkan kadar C setelah terjadi proses pengomposan. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan TKKS sisa media jamur merang semakin meningkat pula kadar N, P dan K dalam kompos. Kadar N mengalami kenaikan sebesar 48,84%, P sebesar 44,16% dan K sebesar 64,15%. dan penurunan kadar C paling optimal yaitu pada variable 10% w/w bibit jamur merang dengan penambahan EM-4 10 ml. Dan dari hasil penelitian juga disimpulkan bahwa jika pupuk ini diaplikasikan pada tanaman, tanaman akan lebih tahan terhadap hama dan penyakit karena pupuk ini mengandung *Streptomyces* yang mengeluarkan enzim

stresptomisin yang bersifat racun terhadap hama dan penyakit yang merugikan, *actinomycets* yang dapat menekan jamur dan bakteri berbahaya dengan menghancurkan kitin yaitu zat esensial untuk pertumbuhannya. Selain itu pupuk ini mengandung bakteri fotosintetik yang dapat mensintesis senyawa nitrogen, gula dan substansi bioaktif lainnya yang dapat diserap secara langsung oleh tanaman dan tersedia sebagai substrat untuk perkembangbiakan mikroorganisme yang menguntungkan, *Yeast*/ragi dimana substansi bioaktif yang dihasilkan oleh ragi berguna untuk pertumbuhan sel dan pembelahan akar pada tanaman.

Limbah TKKS yang bersifat organik mempunyai kandungan unsur N 1.5%, P 0.5%, K 7.3% dan Mg 0.9% mempunyai potensi cukup besar untuk dapat dimanfaatkan sebagai substitusi pupuk dengan mengaplikasikan limbah diatas tanah sekitar gawangan tanaman kelapa sawit. Pemanfaatan limbah TKKS ini dinilai PT.REA Kaltim Plantations sangat efisien dan dapat mereduksi biaya pembelian pupuk organik sampai 60% dengan hasil Tandan Buah Segar (TBS) yang optimum. Dari pemanfaatan tersebut biaya produksi TBS dapat dikurangi secara signifikan dan permasalahan lingkungan yang timbul pada pabrik kelapa sawit dapat diatasi tanpa mengeluarkan biaya bahkan dapat mendapatkan keuntungan dari segi biaya.

Pengaplikasian pupuk TKKS juga sangat memperhatikan keadaan sifat tanah. Pada penelitian ini dilakukan penelitian terhadap tanah jenis *sulfaquent*. Tanah jenis *sulfaquent* memiliki prospek untuk pengembangan areal tanaman padi apabila dikelola dengan baik. Adanya keterbatasan dari jenis lahan ini, maka penggunaan biomassa *chromolaena odorata* dan kompos tandan kosong sawit menjadi alternative untuk mengatasi masalah di tanah jenis ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peranan biomassa *chromolaena odorata* dan kompos tandan kosong sawit terhadap sifat tanah *sulfaquent* (pH dan pelumpuran tanah) serta pertumbuhan tanaman padi (tinggi tanaman dan jumlah klorofil). Metode eksperimen lapangan dalam bentuk faktorial dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL), yang terdiri dari dua faktor digunakan dalam percobaan ini. Faktor pertama yaitu aplikasi biomassa *chromolaena odorata* sebanyak 3 taraf, yaitu c1 = kontrol, c2 = 25 gram/polibag, dan c3 = 50 gram/polibag. Faktor kedua yaitu kompos tandan kosong kelapa sawit (t) dengan dosis t1= kontrol, t2=25 gram/polibag, dan t3 = 50 gram/polibag, sehingga diperoleh 9 kombinasi perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi perlakuan c3t2 berpengaruh nyata terhadap pH tanah yaitu sebesar 6,22; perlakuan c2 berpengaruh nyata terhadap

jumlah klorofil yaitu 39,52 unit. Aplikasi *chromolaena odorata* dan tandan kosong sawit tidak berpengaruh terhadap pelumpuran, tinggi tanaman, dan berat gabah, namun perlakuan c3t2 memberikan nilai rerata indeks pelumpuran (IP) sebesar 17,92 %, dan perlakuan c1t1 menghasilkan nilai rerata tinggi tanaman sebesar 90,03 cm, serta perlakuan c3t3 menghasilkan berat gabah tertinggi yaitu 71,3 gram/rumpun.

Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Bioetanol

Salah satu teknologi yang berpeluang dikembangkan untuk mendukung pengadaan energi adalah produksi bioetanol. Penelitian yang dilakukan Lucky dan Erwan Adi ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah kelapa sawit sebagai bahan baku pembuatan bioethanol dengan proses hidrolisis dan fermentasi menggunakan bakteri *Zymomonas mobilis*. Pada penelitian ini dilakukan proses hidrolisa dan dilanjutkan proses fermentasi. Variable yang dilakukan adalah volume HCl 10, 20, 30 (%v/v). Waktu fermentasi 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (hari). Startes *Zymomonas mobilis* 9, 10, 11, 12, 13 (%v/v). Dalam fermentasi mikroorganisme yang digunakan untuk memproduksi bioetanol dalam penelitian ini adalah bakteri *Zymomonas mobilis*, karena memiliki toleransi suhu yang tinggi, kemampuan untuk mencapai konversi yang lebih cepat dan lebih tahan terhadap kadar etanol yang tinggi. Hasil pada hidrolisis telah didapatkan kondisi terbaik yaitu pada penggunaan katalis HCl dengan konsentrasi 20% yang menghasilkan kandungan glukosa 10,04%. Larutan ini masih bersifat asam dengan pH yang sangat rendah (pH=1) sedangkan kondisi yang ditetapkan untuk proses fermentasi adalah larutan dengan pH = 6. Hasil fermentasi bakteri *Zymomonas mobilis* mampu mengkonversi glukosa sebesar 97,81% dan pada kondisi terbaik proses fermentasi didapatkan yield etanol sebesar 56,44%.

Pengembangan bioethanol dari material lignoselulosa adalah dengan mengkonversi seluruh polisakarida yang ada menjadi monosakarida dengan memanfaatkan berbagai jenis enzim. Pada penelitian ini menggunakan metode steaming dan enzimatis. Steaming bertujuan untuk menghilangkan lignin yang dapat menghambat akses enzim dalam memecah polisakarida menjadi monosakarida, sehingga menyebabkan hidrolisis tidak optimal. Metode pengujian pada penelitian ini meliputi uji komposisi (uji lignin dan uji selulosa) dan uji kadar glukosa. Pada pengujian lignin digunakan metode Klason, sesuai SNI 0429,2008. Untuk pengujian selulase mengikuti metode antrone, mengikuti metode AOAC,1984. Kadar glukosa tertinggi yang diperoleh dari hidrolisis enzim selobiase adalah pada kondisi

suhu 50°C, pH 5 dan ukuran TKKS 63 µM dengan % yield sebesar 6.808% dari berat kering TKKS dan untuk enzim selulase pada kondisi 37 °C, pH 5 dan ukuran TKKS 63 µM dengan % yield sebesar 13.693% dari 0.5 gr berat kering TKKS. Dan untuk kombinasi kedua enzim, % glukosa tertinggi yang diperoleh dari kombinasi enzim selulase dan enzim selobiase dengan perbandingan 2:1 yang memberikan % yield sebesar 23.561% dari 0.5 g berat kering TKKS.

Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Karbon/Arang Aktif

Tempurung kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai arang aktif. Karbon/arang aktif adalah arang yang diaktifkan dengan cara perendaman dalam bahan kimia atau dengan cara mengalirkan uap panas ke dalam bahan, sehingga pori – pori bahan menjadi lebih terbuka dengan luas permukaan berkisar antara 300 hingga 2000 m²/g (Rahmawati, 2006). Arang aktif banyak digunakan sebagai adsorben, pemurnian gas, penjernihan air dan sebagainya. Arang aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung arang, baik arang organik maupun anorganik dengan syarat bahan tersebut mempunyai struktur berpori (Mulia, 2007). Senyawa kimia yang dapat digunakan sebagai bahan pengaktifan antara lain H₂O, KCl, NaCl, ZnCl₂, CaCl₂, MgCl₂, H₃PO₄, Na₂CO₃ dan garam mineral lainnya (Lestari, 2012).

Penelitian yang dilakukan Dewi, dkk (2014) yaitu untuk mengetahui karakteristik cangkang kelapa sawit sebagai karbon aktif dengan menggunakan aktivator H₂O melalui uji proksimat berupa kadar air dan kadar abu, daya serap karbon aktif terhadap bilangan iodin dan rendemen. Dewi, dkk (2014) mendapatkan hasil uji proksimat dengan karakteristik pada cangkang kelapa sawit yang dapat menghasilkan nilai kadar air yang terbaik terdapat pada suhu 600°C yaitu sebesar 4,5% yang memenuhi Standar Industri Indonesia (SII), nilai kadar abu yang didapatkan pada suhu 600°C pada waktu 60 menit yaitu sebesar 9,7% , nilai bilangan iodin yang didapatkan pada penelitian ini yang tertinggi yaitu 353 mg/gr yang diperoleh pada suhu aktivasi 900°C dengan waktu 60 menit dan rendemen 48%.

Gultom dan Lubis (2006) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum arang aktif yang terbuat dari cangkang kelapa sawit yang diaktifasi dengan H₃PO₄ sebagai penyerap logam berat berupa Cd dan Pb. Dari hasil penelitian yang dilakukan Gultom dan Lubis (2006) menunjukkan bahwa penyerapan yang paling optimum adalah konsentrasi 10 ppm, waktu 40 menit dan pH 3-4. Daya serap logam berat Cd dan Pb mencapai 84,61 % dan 80,13 %. pH optimum penyerapan untuk Cd

dan Pb dicapai pada konsentrasi 10 ppm dan waktu 40 menit adalah pH 3 dan 4 dengan efisiensi penyerapan untuk ion logam Cd dan Pb masing-masing sebesar 81,2 % dan 80,2 %. Karbon aktif yang dihasilkan mampu menyerap logam Cd dan Pb masing-masing 84,61 % dan 80,13 % (Gultom dan Lubis, 2006).

Selain sebagai penyerap logam berat karbon aktif juga dapat dijadikan sebagai penyerap CO₂. Apria, dkk (2013) melakukan penelitian karbon aktif yang berasal dari limbah cangkang sawit dengan aktivasi kimia menggunakan H₃PO₄ untuk menyerap gas CO₂ sehingga kadar CH₄ dalam biogas dapat meningkat. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan kadar CH₄ dalam biogas yang diserap dengan adsorben karbon aktif kimia dengan H₃PO₄ sebesar 65,5% dan karbon aktif komersial sebesar 70,5% dibandingkan sebelum menggunakan adsorben sebesar 58,5%.

Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Asap Cair Hasil Pirolisis

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, limbah cangkang sawit dapat diolah menjadi produk yang bernilai ekonomi lebih tinggi yaitu menjadi asap cair. Proses yang digunakan untuk menghasilkan asap cair adalah dengan menggunakan metode pirolisis. Pada metode pirolisis prosesnya terjadi tanpa kehadiran oksigen (Demirbas, 2005). Pengolahan cangkang kelapa sawit dengan teknik pirolisis ini adalah salah satu metode alternatif untuk menghasilkan energi terbaru untuk mengatasi masalah semakin menipisnya energi yang ada saat ini. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H₂, CO, CO₂, H₂O dan CH₄), tar, dan char. Adapun produk pirolisis lainnya antara lain : Arang (*Biochar*), *Torrified Wood*, Arang Aktif, Briket Arang, Biooil, Syngas (Ilmiawan, 2011).

Penelitian yang dilakukan (Ginayati dkk., 2015) bertujuan untuk memanfaatkan limbah cangkang sawit untuk diolah menjadi asap cair *grade I* yang digunakan sebagai pengawet alami tahu. Asap cair *grade I* yang dihasilkan kemudian digunakan untuk mengawetkan tahu agar dapat meningkatkan masa simpan tahu. Darmadji (1999) mengataakan bahwa kandungan asap cair dari hasil pirolisis adalah senyawa fenol sebesar 4,13%, karbonil 11,3% dan asam 10,2%, senyawa tersebut bersifat antimikroba yang dapat mengawetkan makanan. Dari penelitian yang dilakukan (Ginayati dkk., 2015) mendapatkan hasil bahwa *yield* asap cair yang dihasilkan pada suhu 300°C, 340°C dan 380°C adalah 44.85%, 45,81% dan 39,15%. Kondisi terbaik untuk pengawetan tahu diperoleh pada temperatur 340°C konsentrasi 0,5% dengan nilai TVB 19,61 mgN%.

Asap cair hasil pirolisis dari cangkang kelapa sawit juga dapat dimanfaatkan sebagai pengendali hama yang bersifat *antifeedant* terutama dalam menanggulangi hama perusak daun seperti larva *P.Xylostella*. Khaidun dan Haji (2010) melakukan penelitian potensi asap cair hasil pirolisis cangkang kelapa sawit sebagai biopestisida *antifeedant*, yang menghasilkan rendemen fraksi metanol dari asap cair pada suhu 500°C sebanyak 52,64% yang berpotensi sebagai pengendali hama yang bersifat *antifeedant*.

Menurut Ratnasari (2011) pirolisis terhadap cangkang sawit tersebut akan diperoleh rendemen berupa asap cair yang dapat digunakan sebagai biopreservatif baru pengganti preservatif kimia. Dalam tugas akhirnya Ratnasari (2011) dan menyebutkan bahwa semakin lama waktu pembakaran cangkang kelapa sawit, semakin sedikit volume asap cair yang dihasilkan, sehingga densitasnya dan viskositasnya semakin rendah. Begitu juga dengan kadar *yield* nya semakin rendah.

Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar

Menurut Effendi (2008), cangkang buah kelapa sawit merupakan turunan dari Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit yang kalau diolah dapat berfungsi sebagai bahan bakar untuk pengganti BBM. Biasanya cangkang ini digunakan untuk briket sejenis briket batubara. Cangkang sawit memiliki potensi yang cukup besar jika dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena nilai kalor yang dimilikinya cukup tinggi, sekelas dengan batubara jenis lignit. Pada prosiding (Bahrin dkk, 2011), mengatakan bahwa penggunaan biomassa cangkang sawit di industri karet ternyata mampu mengurangi emisi gas rumah kaca (CO₂) dan abu yang dihasilkan masing-masing sebesar 22,8 % dan 62 %. Namun selain dampak positif, penggunaan cangkang sawit ternyata memberikan dampak negatif karena menyebabkan peralatan menjadi cepat rusak. Hal tersebut mungkin dapat disebabkan karena sifat asam gas hasil pembakaran cangkang sawit tersebut.

Penelitian pemanfaatan limbah padat cangkang sawit sebagai bahan bakar dilaksanakan di Baristand Industri Banda Aceh. Teknologi pembuatan briket dari bahan baku cangkang sawit menggunakan bahan perekat tepung kanji dengan konsentrasi 10%, 15% dan 20%. Namun dari hasil uji pendahuluan menunjukkan konsentrasi tepung kanji 10% memberikan hasil yang lebih baik. Produk briket yang dihasilkan kemudian diuji mutu dan dari hasil uji mutu menunjukkan produk briket dengan perlakuan bahan baku cangkang sawit pada konsentrasi perekat 10% memberikan

rata-rata hasil uji: kadar air 5,51% ,kadar abu 2,82% ,hilang pijar 45,25% ,kuat tekan 2,71 kg/cm² dan kalori 7374,31 kal/gr. Dari hasil pengujian mutu menunjukkan bahwa parameter uji sesuai SNI Briket Arang Kayu telah memenuhi baku mutu, sedangkan untuk kadar hilang pijar belum memenuhi persyaratan. (Thalib, 2011)

Selain penelitian yang dilakukan oleh Thalib (2011), menurut Susanto dan Yanto (2012), salah satu cara untuk mengurangi konsumsi minyak tanah adalah pemanfaatan dan penggunaan limbah hasil pengolahan kelapa sawit (PKS) menjadi briket bioarang, dimana bahan-bahan penyusunnya berasal dari tandan kosong dan cangkang kelapa sawit. Hasil pengamatan di uji dengan Analisis of Variance (ANOVA) dan untuk mengetahui perlakuan yang berbeda, maka analisis dilanjutkan dengan analisis regresi dan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi perekat kanji, dengan perbandingan komposisi bahan cangkang dan tandan kosong kelapa sawit 1:20 menghasilkan nilai kalor bakar paling besar 5069 kal/g.

Pemanfaatan Sabut (*Fiber*) Kelapa Sawit Sebagai Bahan Penguat Sifat Mekanik Komposit *Fiber Glass*

Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunannya. Salah satu sebagai bahan penguat komposit adalah serat (*fiber*) buah kelapa sawit, dimana tanaman kelapa sawit merupakan tanaman yang banyak dijumpai di seluruh nusantara, sehingga hasil alam berupa kelapa sawit di Indonesia sangat melimpah. Hutabarat (2014) dalam penelitiannya menyebutkan sampai saat ini pemanfaatan limbah berupa sabut buah kelapa sawit masih terbatas pada industri-industri otomotif, mebel dan kerajinan rumah tangga dan belum diolah menjadi produk teknologi. Limbah serat (*fiber*) buah kelapa sangat potensial digunakan sebagai penguat bahan baru pada komposit.

Penelitian menurut Hutabarat (2014) pemanfaatan serat sabut kelapa sawit sebagai penguat sifat mekanik komposit fiber glass, penambahan serat sabut buah kelapa sawit pada komposisi 30% (dalam uji coba 20%, 30% dan 40%) menunjukkan tingkat kelenturan dan kekerasan lebih tinggi dilihat dari pengamatan visual adanya patahan yang lebih lentur dan kekerasan lebih tinggi.

Jamasri (2005) melakukan penelitian komposit serat (*fiber*) buah kelapa sawit acak bermetrik poliester. Untuk mengetahui kandungan air serat dilakukan dengan pemanasan dalam oven

pada suhu 62°C. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode cetak tekan untuk fraksi berat serat (19, 27, 30, 36 dan 42)%. Spesimen tersebut dibentuk dengan mengacu pada standard ASTM D 638 (ASTM, 2002). Hasil pengujian yang dilakukan diperoleh bahwa peningkatan kekuatan tarik secara linier untuk penambahan fraksi berat serat. Sedangkan harga modulus dan regangan patah untuk fraksi berat serat sampai 30% tidak memberikan peningkatan yang signifikan dan terjadi peningkatan yang signifikan pada fraksi berat serat diatas 36%.

Komposit yang diperkuat dengan serat (*fiber*) buah kelapa sawit telah diteliti dengan memberikan beberapa kondisi dan variasi alkali (NaOH) sebagai perlakuannya. Preparasi serat (*fiber*) buah kelapa sawit dilakukan dengan tahapan: dibilas dengan air berlebih, direndam dan diaduk dalam 5% larutan NaOH dengan variasi waktu 2, 4, 6, dan 8 jam, dicuci dengan air bersih hingga didapatkan serat dengan pH = 7, dikeringkan pada suhu 28°C. Serat yang sudah bersih diuji kadar airnya dan digunakan sebagai bahan baku utama kamposit yang ditambahkan resin poliester tidak jenuh Yukalac® 157 BQIN-EX dan katalis MEKPO (methyl ethyl keton peroxide) dengan kadar 1% dari berat resin. Pembuatan komposit serat (*fiber*) buah kelapa sawit-paliester dengan menggunakan metode hand lay up dengan kondisi benda uji mengacu pada standar ASTM D 638, dipanaskan dengan oven pada suhu 60°C selama 4 jam dan diuji tarik dengan mesin uji tarik servopulser. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik optimum komposit untuk perlakuan NaOH selama 2 jam sebesar 20,94 MPa dengan fraksi berat serat 27%, sedangkan kekuatan tarik komposit tanpa perlakuan NaOH sebesar 14,21 MPa. Modulus elastisitas optimum komposit untuk perlakuan NaOH selama 4 jam sebesar 8,44 GPa dengan fraksi berat serat 32%, sedangkan regangan optimum kamposit untuk perlakuan NaOH selama 2 jam sebesar 0,84% dengan fraksi berat 27%.

Komposit yang diperkuat dengan serat (*fiber*) buah kelapa sawit telah diteliti dengan memberikan beberapa kondisi dan variasi alkali (NaOH) sebagai perlakuannya. Serat yang sudah bersih diuji kadar airnya dan digunakan sebagai bahan baku utama kamposit yang ditambahkan resin poliester tidak jenuh Yukalac® 157 BQIN-EX dan katalis MEKPO (*Methyl Ethyl Keton Peroxide*) dengan kadar 1% dari berat resin. Pembuatan komposit serat (*fiber*) buah kelapa sawit-poliester dengan menggunakan metode hand lay up dengan kondisi benda uji mengacu pada standar ASTM D 638, dipanaskan dengan oven pada suhu 60 derajat C selama 4 jam dan diuji tarik dengan mesin uji tarik servopulser. Berdasarkan

penelitian Wahono (2008) pembuatan komposit serat (*fiber*) buah kelapa sawit-paliester dengan menggunakan metode *hand lay up* dengan kondisi benda uji mengacu pada standar ASTM D 638, dipanaskan dengan oven pada suhu 60 derajat C selama 4 jam dan diuji tarik dengan mesin uji tarik servopulser. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik optimum komposit untuk perlakuan NaOH selama 2 jam sebesar 20,94 MPa dengan fraksi berat serat 27%, sedangkan kekuatan tarik komposit tanpa perlakuan NaOH sebesar 14,21 MPa. Modulus elastisitas optimum komposit untuk perlakuan NaOH selama 4 jam sebesar 8,44 GPa dengan fraksi berat serat 32%, sedangkan regangan optimum kamposit untuk perlakuan NaOH selama 2 jam sebesar 0,84% dengan fraksi berat 27%.

Pemanfaatan Sabut (*Fiber*) Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengolah Limbah Cair

Kelapa sawit merupakan tanaman dengan nilai ekonomis yang cukup tinggi karena merupakan salah satu tanaman penghasil minyak nabati. Produksi minyak kelapa sawit Indonesia saat ini mencapai 6,5 juta ton pertahun dan diperkirakan pada tahun 2012 akan meningkat menjadi 15 juta ton pertahun, karena terjadinya pengembangan lahan. Seperti yang dipaparkan oleh Manusiawai (2011) dalam penelitiannya bahwa pemakaian sabut kelapa sawit dapat digunakan sebagai mediator pertumbuhan mikrobiologi, dimana mikrobiologi yang sangat berperan aktif dalam penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah kelapa sawit adalah bakteri hidrolik.

Dalam pemanfaatan serat sabut kelapa sawit sebagai bahan pengolah limbah cair Manusiawai (2011) juga menyebutkan bahwa pemakaian sabut kelapa sawit dapat digunakan sebagai mediator pertumbuhan mikrobiologi, dimana mikrobiologi yang sangat berperan aktif dalam penurunan kadar BOD, COD dan TSS pada limbah kelapa sawit adalah bakteri hidrolik. Semakin tebal/berat sabut kelapa sawit yang digunakan maka semakin tinggi prosentasi penurunan kandungan BOD, COD dan TSS pada limbah cair pabrik kelapa sawit.

Pada penelitian dalam pemanfaatan serat sabut kelapa sawit sebagai bahan pengolah limbah cair yang dilakukan oleh Kasnawati (2011) menyebutkan bahwa waktu kontak yang paling optimal digunakan adalah pada waktu kontak 6 hari agar mendapatkan prosentase penurunan BOD, COD dan TSS yang maksimal.

Sabut kelapa sawit mempunyai komposisi kimia yang cukup baik digunakan untuk mengolah limbah cair kelapa sawit dimana komposisi tersebut banyak mengandung selulosa yaitu sekitar 40%. Kuadrat (2011) menyatakan bahwa bahan

yang mempunyai komponen selulosa dan lignin memiliki daya serap 6000 kali lebih besar dari pada daya serap karbon aktif.

Pemanfaatan Sabut (*Fiber*) Kelapa Sawit dalam Pembuatan Pulp

Pemanfaatan limbah kelapa sawit biasanya dimanfaatkan untuk bahan bakar, pembangkit listrik, bahan bakar ketel uap, dan briket arang. Serat sabut buah kelapa sawit mempunyai kadar selulosa yang tinggi yaitu 44,14 %, sehingga berpotensi sebagai alternatif pembuatan pulp (Purwanto dan Sparingga, 2000). *Pulp* merupakan bahan berupa serat berwarna putih yang diperoleh melalui proses penyisihan lignin dari serat.

Jati dkk (2011) menyebutkan dalam penelitiannya bahwa serat sabut kelapa sawit bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan *pulp* berupa lembaran. Parameter yang dinilai antara lain kadar air, rendemen, gramatur, ketebalan, ketahanan tarik, dan ketahanan sobek. Penelitian terdahulu didapatkan nilai kadar air sebesar 7,845 %, rendemen 51,90 %, gramatur 158 g/m², ketebalan 0,26 mm, ketahanan tarik 4,9725 kgf/cm, dan ketahanan sobek 2,721 mN. Pada penelitian Heryadi, dkk (2014) pemanfaatan serat sabut kelapa sawit skala laboratorium dan skala ganda menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan parameter kadar air, rendemen, gramatur, ketebalan, ketahanan tarik dan ketahanan sobek.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Saraswati dkk (2013) dalam pemanfaatan serat (*fiber*) buah kelapa sawit menjadi *pulp* didapatkan hasil uji verifikasi kondisi optimum didapati nilai kecerahan sebesar 65,4% dan kuat tarik sebesar 4,06 kgf/cm². Hasil karakter fisik lainnya meliputi nilai ketahanan sobek sebesar 1622 mN, rendemen sebesar 26,80%, Kadar air sebesar 6,25 %. Didapati pula gramatur sebesar 268 gr/m², dan ketebalan sebesar 832 mikrometer

Pemanfaatan Sabut (*Fiber*) Kelapa Sawit Sebagai Media Tanaman Alternatif

Bibit kelapa sawit membutuhkan media tanam yang mempunyai sifat kimia dan sifat fisik yang baik. Media pembibitan kelapa sawit pada umumnya terdiri atas tanah lapisan atas (*topsoil*) yang dicampur dengan pasir maupun bahan organik sehingga diharapkan diperoleh media dengan kesuburan yang baik. Sampai saat ini, *topsoil* memegang peranan penting untuk pertumbuhan bibit kelapa sawit. Hasil penelitian Sukarji dan Hasril (1994) menunjukkan penggunaan tanah lapisan bawah (30-60 cm) menghasilkan pertumbuhan bibit yang kurang baik.

Gusta dkk (2014) dalam penelitiannya menyebutkan pemanfaatan serat sabut kelapa sawit

dan kompos kiambang mampu menggantikan posisi *topsoil* dalam mengoptimalkan pertumbuhan bibit tanaman kelapa sawit dilihat dari parameter pertumbuhan tinggi bibit, jumlah daun, diameter batang dan jumlah akar yang relatif sama untuk semua waktu pengamatan.

Hasil pengamatan dari penelitian yang dilakukan oleh Gusta dkk (2014) menunjukkan bahwa seluruh perlakuan media tanam : 100% *topsoil*, *topsoil* dan kompos kiambang (1:1), *topsoil* dan sabut kelapa sawit (1:1), *topsoil* dan kompos kiambang (1:2), *topsoil* dan sabut kelapa sawit (1:2), kompos kiambang dan sabut kelapa sawit (1:1), serta *topsoil*, kompos kiambang, dan sabut kelapa sawit (1:1:1), perlakuan yang memberikan nilai yang sama untuk variabel pengamatan tinggi bibit, jumlah daun, dan diameter batang bibit (Tabel 1). Pada variabel pengamatan bobot kering berangkasan dan bobot kering akar, perlakuan *topsoil*, kompos kiambang, dan sabut kelapa sawit (1:1:1) berpengaruh signifikan.

Berdasarkan data bobot kering total maupun bobot kering akar bibit kelapa sawit, perlakuan media tanam *topsoil*, kompos kiambang, dan sabut kelapa sawit menunjukkan pengaruh yang nyata. Pengamatan hasil bobot kering sering digunakan pada pengukuran hasil pertanian, dikarenakan dapat menghasilkan berat yang konstan. Semakin tinggi bobot kering tanaman menunjukkan bahwa tanaman tersebut dapat menyerap unsur hara dengan baik, sehingga efek pertumbuhannya pun akan baik. Bobot kering tanaman berkorelasi positif dengan serapan unsur hara oleh tanaman terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (Harahah dkk, 2014).

Pemanfaatan Sabut (*Fiber*) Kelapa Sawit Sebagai Alternatif Pengganti Solar dan Batubara sebagai Bahan Bakar Pembangkit listrik

Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara mempunyai reputasi baik karena mampu memproduksi listrik dengan biaya paling murah dibandingkan sistem pembangkit listrik lainnya. Biaya operasi PLTU batubara kurang lebih 30% lebih rendah dibandingkan sistem pembangkit listrik yang lain. Namun sisi lain, PLTU batubara juga mempunyai reputasi buruk karena merupakan sumber pencemar utama terhadap atmosfer kita, senyawa-senyawa seperti SO_x dan NO_x yang berbentuk gas dengan bebasnya naik melewati cerobong dan terlepas ke udara bebas. Kedua gas tersebut dapat bereaksi dengan uap air yang ada di udara sehingga membentuk H₂SO₄ (asam sulfat) dan HNO₃ (asam nitrat). Keduanya dapat jatuh bersama-sama air hujan sehingga mengakibatkan terjadinya hujan

asam. Berbagai kerusakan lingkungan serta gangguan terhadap kesehatan dapat muncul karena terjadinya hujan asam tersebut (Mukhlis Akhadi, 2000). Mengingat semakin meningkatnya kebutuhan listrik maka semakin meningkat pula kebutuhan bahan bakar untuk mengoperasikan pusat listrik tenaga uap. Batubara yang digunakan untuk bahan bakar pusat listrik tenaga uap, namun batubara sekarang dinilai masih efektif untuk bahan bakar pusat listrik tenaga uap (PLTU) karena batubara memiliki nilai kalori yang cukup baik untuk memanaskan boiler, dan jika melihat kondisi pertanian dan perkebunan saat ini dimana kelapa sawit merupakan salah satu pilihan terbanyak yang digunakan petani dan perusahaan perkebunan di Indonesia, hasil dari pengolahan kelapa sawit terdapat limbah, limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak adalah limbah cair dan padat. Syarifuddin dan Hanesya (2012) dalam penelitiannya menyatakan bahwa limbah padat terdiri dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serabut (*fiber*) kelapa sawit yaitu ampas dari buah kelapa sawit. Serabut (*fiber*) tersebut digunakan sebagai bahan bakar pada boiler untuk merebus dengan cara menguapkan kelapa sawit sebelum mencapai proses pengolahan.

Dalam penelitiannya Syarifuddin dan Hanesya (2012) juga mengatakan limbah padat sawit yaitu serat sabut kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler pada pabrik pengolahan kelapa sawit juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU). Cangkang dan serat sabut kelapa sawit sangat efektif untuk bahan bakar alternatif pada PLTU karena dilihat dari biaya yang relatif murah, dampak lingkungan yang cukup kecil jika dibandingkan dengan batubara dan ketersediaannya yang sangat melimpah.

Dengan input yang sama 6000 kg/hr, pada saat PLTU 6 MW menggunakan bahan bakar cangkang mampu menghasilkan output maksimal 5,89 MW dan pada saat PLTU 6 MW menggunakan bahan bakar *fiber* output maksimal yang dicapai adalah 3,28 MW. Untuk membangkitkan 1 MW/hr pada PLTU 6 MW membutuhkan 1,02 ton/hr cangkang atau membutuhkan panas 16,7 Mbtu/hr, sedangkan untuk membangkitkan 1 MW/hr pada PLTU 6 MW membutuhkan 1,83 ton *fiber* atau membutuhkan panas 26,2 Mbtu/hr. Pada saat PLTU 6 MW menggunakan bahan bakar cangkang menghasilkan output rata – rata sebesar 4,5 MW/hr atau membutuhkan cangkang 4,59 ton/hr sedangkan pada saat PLTU 6 MW menggunakan bahan bakar *fiber* menghasilkan output rata – rata 2,3 MW/hr atau membutuhkan *fiber* 4,2 ton/hr. Efisiensi total PLTU 6 MW pada saat

menggunakan bahan bakar cangkang sebesar 20,5 % dan pada saat menggunakan bahan bakar *fiber* sebesar 13% (Harris dkk, 2013).

Sunarwan dan Juhana (2013) menyebutkan dalam penelitiannya tentang pemanfaatan limbah kelapa sawit untuk bahan bakar energi baru dan terbarukan (EBT) bahwa alternatif untuk bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) pengganti solar dan batubara adalah limbah kelapa sawit yang berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS), Cangkang (*Shell*) serta Serabut (*Fiber*) yang sudah kering dengan kadar air maksimum 6,6%.

KESIMPULAN

1. Limbah padat kelapa sawit berupa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, bahan bakar pembangkit listrik tenaga biomassa (PLT Biomassa) dan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol dengan berbagai proses.
2. Limbah padat kelapa sawit berupa cangkang kelapa sawit paling umum dimanfaatkan sebagai arang/karbon aktif, namun dengan penelitian yang dikembangkan bahwa cangkang kelapa sawit bisa dimanfaatkan dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan pupuk cair kalium sulfat, pengawet alami tahu, bahan bakar (biomassa), dan briket.
3. Limbah padat kelapa sawit berupa sabut (*fiber*) buah kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan penguat sifat mekanik komposit *Fiber Glass*, bahan pengolahan limbah cair, pembuatan pulp, media tanaman alternatif, dan bahan bakar pembangkit listrik.
4. Limbah padat kelapa sawit belum maksimal untuk dimanfaatkan, oleh karena itu masih banyak yang perlu dikembangkan dan dilakukan untuk pemanfaatan limbah padat kelapa sawit dengan dilakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S.; Yulianti, E.; Fasya, A.G.; Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit, *Alchemy*, 2010, 1(2), 53-103.
- Apria W.; Berlian S.; Afghani J.; Karbon Aktif Dari Limbah Cangkang Sawit Sebagai Adsorben Gas Dalam Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik, 2013, 2(1), 30-33.
- Bahrin, D.; Nukman; Dariansyah Y., Bahan Bakar Bersih Untuk Industri Karet Di Sumatera Selatan, *Prosiding Seminar Teknik Kimia Universitas Sriwijaya*, Palembang, 26-27 Oktober 2011, 113
- Darmadji, Aktivasi Anti Bakteri Asap Cair yang Diproduksi dari Berbagai Macam Limbah Pertanian, *Agritech*, 1999, 16(4), 19 – 22.

- Demirbas, A., Pyrolysis of Ground Wood in Irregular Heating Rate Conditions. *J. Anal and Applied Pyrolysis*, 2005, 39-43
- Dewi, R.; Harahap, H. H.; Malik, U.; Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Menggunakan H₂O Sebagai Aktivator Untuk Menganalisis Proksimat Bilangan Iodine dan Rendemen, 2014, 1 (2), 48-53
- Effendi. 2008. *Jambi Belum Ekspor Cangkang Kelapa Sawit. Di akses pada tanggal 18 Mei 2011 dari <http://www.kabarindonesia.com>*.
- Elykurniati, *Laporan Penelitian Pemanfaatan Limbah Padat Cangkang Kelapa Sawit Dalam Pembuatan Pupuk Cair Kalium Sulfat, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Desember 2011.*
- Femi E., "The Use Of The Peel Of Mangosteen (Garcinia Mangostana L) As Biosorbent Of Pb(II), Ni(II), Cd(II), And Cr(VI) Ion", Department of Chemistry, 2007.
- Ginayati, L.; Faisal, M.; Suhendrayatna, Pemanfaatan Asap Cair Dari Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengawet Alami Tahu, 2015, 4(3), 7-11.
- Gultom, E. M.; Lubis, M. T., Aplikasi Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator H₃PO₄ Untuk Penyerapan Logam Berat Cd dan Pb, 2014, 3(1), 5-9
- Gusta. A. R.; Kusumastuti, A.; Parapasan, Y.; Pemanfaatan Zompos Kiambang dan Sabut Kelapa Sawit sebagai Media Tanam Alternatif pada Prenursery Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq), 2015, 15(2), 151-155.
- Hakiem, Ilmiawan. Pengaruh Abu Sekam sebagai Cementitious Terhadap Beton. 2011
- Harahap, R.A., C. Suherman, dan S. Rosniawaty. 2014. Pemanfaatan Fungsi Mikoriza Arbuskula pada Media Campuran Subsoil dan Kompos Kulit Pisang terhadap Pertumbuhan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Varietas Ppks 540 Di Pembibitan Awal. *Agric. Sci. J. – Vol. I* (4) : 244-253.
- Harris, Anam, J., Mahmudsyah, S., 2013, Studi Pemanfaatan Limbah Padat dari Perkebunan Kelapa Sawit pada PLTU 6 MW di Bangka Belitung, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hendra, D., Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Serbuk Kayu Gergajian Campuran, 2006, 24(2): 1 - 22.
- Heryadi, M. G.; Wijana, S.; Rahmah N. L., Penggandaan Skala Proses Pembuatan Pulp dari Serabut Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*), 2014, 1-9.
- Husni, H., Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Karbon Aktif Dari Batang Pisang. *Proceedings National Conference On Chemical Engineering Sciences and Applications (CHESA), Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. 2007.*
- Hutabarat, U. I. J., Sifat Mekanik Komposit Fiber Glass Dengan Penguat Serat Sabut Buah Kelapa Sawit Berorientasi Presentase Jumlah Serat Secara Random, 2014, 8(2), 18-27.
- Jamasri, Diharjo K., dan Gunesti, Kajian Sifat Tarik Komposit Serat (*fiber*) buah Sawit Acak Bermatrik Polyester, *Media Teknika* No. 4 Tahun XXVII Edisi November 2005 No. ISSN 0216-3012, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Jati, A. W.; Kusumawardhani N. A.; dan Setyorini E.; Optimasi Pembuatan Pulp Serabut Sawit (*Elaeis guineensis*) Melalui Proses Hidrolisis dengan NaOH. *Majalah inovasi "Riset Material Lanjut"*, 2011, 10(3), hal. 2.
- Kasrawati, Penggunaan Limbah Sabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Untuk Mengolah Limbah Cair, 2011, 6(12), hal. 891-898.
- Khaidun, I.; Haji, A. G., Potensi Asap Cair Hasil Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Biopestisida Antifeedant, *Prosiding Seminar Kimia FKIP Universitas Syiah Kuala Darussalam, Lampung 18-19 Oktober 2010*, 552-555.
- Kundari, N. A.; Slamet W., Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeoli, *Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*, 2008. 320-327.
- Kurniaty, N., Kesetimbangan Adsorpsi Residu Minyak dari Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit (Pome) Menggunakan Gambut Aktif. *Skripsi, Teknik Kimia, Fakultas Teknik UR, Pekanbaru. 2008.*
- Laboratorium Kimia. 2010. Analisis Tandan Kosong Kelapa Sawit, Bandung
- Lestari, D., 2012. Skripsi: Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Ban Bekas Dengan Bahan Pengaktif NaCl Pada Temperatur Pengaktifan 700°C dan 750°C. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Mandiri, Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan, Jakarta, 2012, 61.
- Manusawai. H. A., Pengelolaan Limbah Padat Sabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Untuk Mengelola Limbah Cair, 2011, 6(12), 892.
- Mukhlis, A., 2000, listrik murah atau bersih, *majalah Elektro Indonesia*, no.34 tahun VI, Putra, H.S., 2009, Siklus PLTU termuat di: <http://tapakpakulangit.wordpress.com>, 25 Desember 2015.
- Sutedjo, Mul Mulyani. Pupuk dan Cara Pemupukan. PT. Rineka Cipta, Jakarta. 1987.

- Mulia, A. Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Briket Arang, Tesis Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatra Utara, Desember 2007.
- Nwabanne, J. T.; Igbokwe P. K., Preparation of Activated Carbon from Nipa Palm Nut, Influence of Preparation Condition, Research Journal of Chemical Sciences, 2011, 1(6), 53-58.
- Pahan I., Panduan Lengkap Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis Dari Hulu Hingga Hilir, Bogor, 2006.
- Permata.; Indra Kusumah,. Studi Pemanfaatan Biomassa Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar PLTU, ITS Surabaya, 2005, hal 61.
- Purwanto, W.; Sparingga, Pemanfaatan Tandan Kosong dan Batang Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Pulp Kertas, Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia., 2000, 35(1), hal, 56-65.
- Rahmawati, E. Adsorpsi Senyawa Residu Klorin Pada Karbon Aktif Termodifikasi Zink Klorida. Skripsi FMIPA IPB. Bogor. 2006.
- Saraswati, R. S.; Kumalaningsih, S.; Febrianto, A., Optimasi Proses Bleaching pada Pembuatan Pulp Kering Berbahan Dasar Serabut Kelapa Sawit (*Elais guineensis*), 2013, hal 1-7.
- Suhendrayatna,; Faisal, M.; Ginayati, L., Pemanfaatan Asap Cair Dari Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengawet Alami Tahu, 2015, 4(3), 7-11
- Sukarji dan Hasril. 1994. Buletin Perkebunan, Vol. VIII, 28-48.
- Sulistijono, 2004. Material Komposit. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS, Surabaya.
- Sunarwan, B.; Juhana, R., Pemanfaatan Limbah Sawit untuk Bahan Bakar Energi Baru dan Terbarukan (EBT), Jurnal Tekno Intensif Kopwil4, 2013, vol 7, hal 1-14.
- Susanto, A. dan Yanto, T., Pembuatan Briket Biorang Dari Cangkang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit, Jurusan Teknoloi Pertanian Politeknik Ketapang, Ketapang. 2012. 1-2.
- Syarifuddin; Hanesya. R., Perbandingan Penggunaan Energi Alternatif Bahan Bakar Serabut (Fiber) dan Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Bahan Bakar Batubara dan Solar pada Pembangkit Listrik, Prosiding Seminar Jurusan Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta, 3 November 2012, hal. B-162 – B-170.
- Thalib, A., Pemanfaatan Cangkang Sawit Sebagai Bahan Bakar Briket. Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset dan Standarisasi Industri, Banda Aceh, 14-16 November 2011, hal. 8.
- Wahono, B., Pengaruh perlakuan alkali (NaOH) terhadap karakteristik komposit serat (*fiber*) buah kelapa sawit-poliester, 2008, No 22, hal 10-15.
- Yarman dan Edi, Pengaruh Penambahan Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton K200, Skripsi Politeknik Pasir Pengaraian, 2006

