

Potensi dan karakteristik abu tandan kosong kelapa sawit sebagai katalis heterogen untuk produksi biodiesel

Potential and characteristics of oil palm empty fruit bunches as a heterogeneous catalyst for biodiesel production

R.A Dwi Putri Ananda¹, Leily Nurul Komariah¹, Novy Pralisa Putri², Susila Arita^{1,*}

¹Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Sriwijaya, Palembang-Indonesia

²Chemical Engineering Department Faculty of Engineering, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

*Corresponding author : E-mail: susilaarita@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah padat dengan volume yang cukup besar dari produksi kelapa sawit. Dari total 24,25% TKKS yang dihasilkan, saat ini pemanfaatan limbahnya masih jauh dari potensinya sekitar 95,45 ton/ tahun yang dihasilkan tidak dimanfaatkan dengan baik. Tandan kosong kelapa sawit dapat dikonversi menjadi abu yang siap dipakai untuk proses produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi. Hasil Uji karakteristik menunjukkan bahwa abu TKKS dapat menjadi katalis yang potensial karena menunjukkan kadar kalium mencapai 48,25% . Partikel katalis memiliki *cross section area* 16.2 A²/mol dengan luas permukaan 0,012 m²/g dan total volume pori katalis 0,007674 cc/g. Dalam kajian ini juga dilakukan proyeksi ketersediaan TKKS dari perkebunan sawit dan dikorelasikan dengan proyeksi kebutuhan katalis untuk industri biodiesel. Setiap tahun diperkirakan sedikitnya terdapat 15,5 juta ton TKKS yang dapat dikonversi menjadi abu sawit melalui proses torefaksi dan sejenisnya. Kebijakan penggunaan biodiesel B35 di tahun 2023 diperkirakan akan meningkatkan volume produksi biodiesel sampai 13,5 juta kL. Dengan demikian diperkirakan kebutuhan katalis komersial mencapai 120-140 ribu ton per tahun. Melalui neraca massa TKKS menjadi katalis abu TKKS, dimungkinkan tersedia 2,33 juta ton abu TKKS untuk dimanfaatkan sebagai katalis produksi biodiesel. Neraca massa konversi TKKS menjadi abu menunjukkan bahwa 15%-b abu yang siap dipakai menjadi katalis dapat dihasilkan dari setiap ton TKKS.

Kata Kunci: Abu Sawit, Biodiesel, Tandan Kosong Kelapa Sawit

Abstract

Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) is a solid waste with a large enough volume of palm oil production. Of the total 24.25% OPEFB produced, the current utilization of the waste is still far from its potential; around 95.45 metric tons per year produced are not properly utilized. Empty palm fruit bunches can be converted into ash, which is ready to be used for the biodiesel production process through a transesterification reaction. The test results for the characteristics of the elemental components using the X-Ray Fluorescence (XRF) method show that OPEFB ash can be a potential catalyst because it shows potassium levels reaching 48.25%. The catalyst particles have a cross-sectional area of 16.2 A²/mol, a surface area of 0.012 m²/g, and a total catalyst pore volume of 0.007674 cc/g. In this study, projections of OPEFB availability from oil palm plantations were also carried out and correlated with projected catalyst needs for the biodiesel industry. Every year it is estimated that there are at least 15.5 million tons of OPEFB which can be converted into palm ashes through torrefaction processes and the like. The policy on using B35 biodiesel in 2023 is expected to increase the volume of biodiesel production to 13.5 million kL. Thus, it is estimated that the need for commercial catalysts will reach 120–140 thousand tons per year. Through the conversion of OPEFB into a catalyst for OPEFB ash, it is possible to provide 2.33 million tons of OPEFB ash to be used as a catalyst for biodiesel production. The mass balance of the conversion of OPEFB into ash shows that 15%-b of ash that is ready to be used as a catalyst can be produced from every tonne of OPEFB.

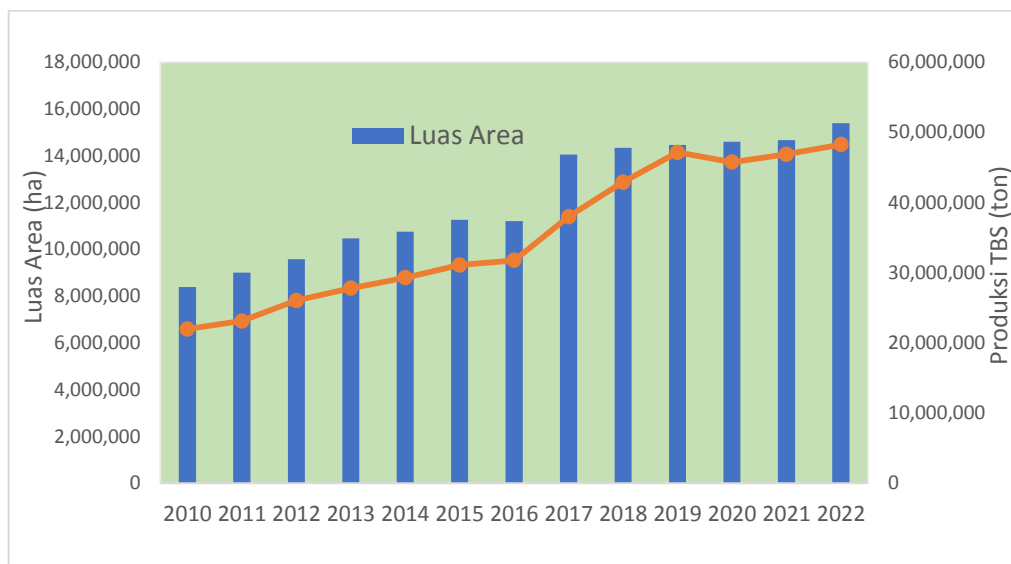
Keywords: Palm Oil Empty Bunches, Palm Ash, Biodiesel

1. PENDAHULUAN

Perkembangan produksi minyak kelapa sawit di Indonesia saat ini mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya juga luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Pada tahun 2021 jumlah produksi minyak kelapa sawit dalam negeri mencapai 51,30 juta ton dengan luas perkebunan kelapa sawit sebesar 15,98 juta ha (BPS, 2020). Hingga akhir tahun 2022 total produksi minyak sawit diprediksi naik 8-10% dibandingkan 2021 yakni 55,40-56,42 juta ton dengan luas perkebunan kelapa sawit 16,38 juta ha (GAPKI, 2022). Peningkatan sektor perkebunan kelapa sawit telah mendorong pertumbuhan industri pengolahan diantaranya, pabrik minyak kelapa sawit (PMKS)

memproduksi crude palm oil (CPO) dan palm kernel oil (PKO). Saat ini pabrik kelapa sawit mampu menghasilkan 20-23% CPO dan 5,7% PKO. Sementara sisanya sebanyak 75% berupa residu hasil pengolahan masih terkatagorikan sebagai limbah (Wiliam et al., 2017).

Produksi minyak kelapa sawit di Indonesia saat ini mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya juga luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Diketahui bahwa tanaman kelapa sawit dapat menghasilkan lebih dari 4.17 ton tandan buah segar (TBS) per hektar. Pada Gambar 1 terlihat pertumbuhan progresif yang sejak tahun 2016 sampai 2022.



Gambar 1. Trend Peningkatan Luas Lahan Sawit dan Produktivitas Minyak Sawit 2010-2022 (Ditjen Perkebunan Kementerian Pertanian, 2022)

Peningkatan sektor perkebunan kelapa sawit telah mendorong pertumbuhan industri pengolahannya. Pada tahun 2021 jumlah produksi minyak kelapa sawit dalam negeri mencapai 51,30 juta ton. Hingga akhir tahun 2022 total produksi minyak sawit diprediksi naik 8-10% dibandingkan 2021 yakni mencapai 55,40-56,42 juta ton (Gapki, 2021). Dengan adanya pertumbuhan luas area produksi perkebunan kelapa sawit ini, maka akan terjadi kenaikan pada produksi TBS (Tandan Buah Segar) dan CPO (*Crude Palm Oil*). Di sisi lain, kenaikan produksi tersebut akan menyebabkan adanya potensi limbah sawit berbanding lurus dari segi jumlah namun belum termanfaatkan secara ekonomis (Supriatna et al., 2022).

Dengan adanya pertumbuhan luas area produksi perkebunan kelapa sawit ini, maka akan

terjadi kenaikan pada produksi TBS (Tandan Buah Segar) dan CPO (*Crude Palm Oil*). Disisi lain, kenaikan produksi tersebut akan menyebabkan adanya potensi limbah sawit yang belum termanfaatkan bernilai ekonomis (Supriatna et al., 2022). Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKSS) merupakan penghasil utama limbah padat dari industri kelapa sawit. Dari satu ton TBS yang diolah mampu menghasilkan limbah TKKS sebanyak rerata 23-30% yang ditabulasikan pada Tabel 1 dibawah ini.

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKSS) merupakan limbah padat dengan jumlah terbesar dari industri kelapa sawit. Dari satu ton TBS yang diolah mampu menghasilkan limbah TKKS sebanyak rerata 23-30% yang ditabulasikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Estimasi Jumlah Tandan Kosong Sawit dan Proyeksinya berdasarkan Produksi Tandan Buah Segar

Potensi Per Ton TBS (%)	Potensi Per Ton TBS (Kg)	Potensi dari total TBS Indonesia 63,882 Juta Ton TBS	Pustaka
20	200	12,7764	(Ditjen PPHP, 2006)
30-35	300-350	22,3587	(Hambali, 2007)
25	250	15,9705	(Putra et al., 2017)
21	210	13,4152	(BPDP, 2018)
22-23	220-230	14,6928	(Ling et al., 2019)
24	240	15,3316	(Derman et al., 2018)
25	250	15,9705	(Hamza et al., 2020)
21	210	13,4152	(Nurdin et al., 2021).
24,25	242,5	15,4913	Rata-Rata

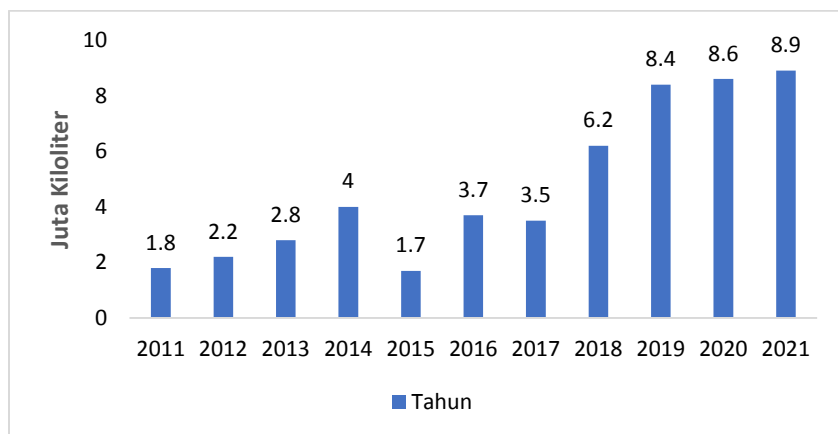
Menurut (Yanti et al., 2022) menyatakan komposisi TBS didominasi oleh TKKS (21%), buah (65.5%) dan kondesat (13.5%), sedangkan sisanya, merupakan cangkang (6.4%), fiber (14.4%). Bila diketahui jumlah produksi tandan buah segar kebun sawit di Indonesia berkisar 63,88 juta ton (Gapki, 2021) maka proyeksi jumlah TKKS dihasilkan mencapai 15,49 juta ton per tahun dari total 63,882 Juta Ton TBS Indonesia.

1.1 Perkembangan industri dan katalis produksi biodiesel

Peningkatan sektor perkebunan kelapa sawit telah mendorong pertumbuhan industri turunan sawit dan bioenergi berbasis kelapa sawit yaitu produksi dan konsumsi biodiesel di Indonesia dengan posisinya sebagai salah satu negara produsen minyak sawit terbesar di dunia. Kebijakan mandatori B30 yang sudah dilakukan sejak awal tahun 2020 semakin

mengakselerasi industri biodiesel berbasis minyak sawit. Kebijakan tersebut mengatur ketentuan pentahapan kewajiban minimal pemanfaatan Biodiesel sebagai campuran bahan bakar minyak diatur dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 tahun 2015 tentang Perubahan Ketiga atas Peraturan Menteri ESDM Nomor 32 tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain. Peraturan ini menyebutkan bahwa mulai Januari 2020 pemanfaatan Biodiesel sebagai campuran bahan bakar minyak ditetapkan minimal sebesar 30% (B30).

Data Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia (APROBI) menunjukkan terjadinya peningkatan produksi biodiesel dari 6,2 juta kiloliter pada tahun 2018 dan mencapai level tertinggi sebesar 8,9 juta kiloliter pada akhir 2021 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Produksi Biodiesel di Indonesia (APROBI, 2021)

Hingga saat ini produksi biodiesel Indonesia berkembang signifikan, menurut Siaran Pers Direktorat EBTKE Kementerian ESDM, mengacu

pada proyeksi penyaluran Biosolar tahun 2022 serta asumsi pertumbuhan permintaan/demand sebesar 3%, diperkirakan penjualan Biosolar di tahun 2023 akan

mencapai angka 37.567.411 kL. Sehingga estimasi kebutuhan Biodiesel sebagai bahan bakar campuran untuk mendukung implementasi B35 adalah sebesar 13.148.594 kL.

Untuk rencana implementasi B35 tersebut maka diperkirakan kebutuhan katalis untuk memproduksi biodiesel di Indonesia mencapai 126-145 ribu kg per tahun. Selama ini untuk kebutuhan komersial, pabrik-pabrik biodiesel pada umumnya menggunakan katalis basa yang dipenuhi melalui skema impor.

1.2 Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit

Selama ini Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) umumnya diolah menjadi beragam bentuk seperti pupuk kompos, media tanam, bahan baku pembuatan kertas dan sedikit dipakai untuk bahan bakar (arang briket dll). Namun dari total limbah TKKS yang dihasilkan, limbah yang telah dimanfaatkan masih dalam proporsi yang rendah. Hal

ini disebabkan karena kandungan dan karakteristik yang dimiliki TKKS.

Setiap satu ton TKKS mengandung unsur hara 1.5% N, 0.5% P, 7.3% K dan 0.9% Mg (Susanto et al., 2017) TKKS mengandung bahan lignoselulosa sebanyak 55-60%, kandungan lignoselulosa ini memiliki kemampuan dalam penyerapan logam berat karena mengandung gugus aktif OH dan COOH (Rahmalia et al., 2006). Secara umum TKKS mengandung kadar air yang sangat tinggi, sehingga untuk digunakan sebagai bahan bakar ini kurang direkomendasikan karena dapat menurunkan suhu pembakaran dan menurunkan efisiensi energi. Menurut (Suksong et al., 2020) kadar air TKKS berkisar 60-66%. Selain itu, karbonisasi hidrotermal dari TKKS menghasilkan produk padat berkarbon yang mengandung sekitar 50-66% karbon, perolehan ini tergantung pada suhu proses yang digunakan.

Tabel 2. Data (estimasi) Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit

Pemanfaatan	Metode	Total Pemanfaatan TKKS (%)	Ref
Pupuk	Pengomposan	5	(Arfiana et al., 2021)
Arang Briket	Karboniasi	6	(Amrullah et al., 2020)
Bahan Bakar Boiler/ Pembangkit Listrik	Co-firing, gasifikasi	4,7	(Montoya et al., 2020)
Bahan Baku Kertas	Karboniasai, Pirolisis, Polimerisasi	4,5	(Indriati et al., 2020)
Media Tanam	Pirolisis, Gasifikasi, Pembakaran, Pengomposan	0,9-2,4	(Anyaoaha et al., 2018)
Adsorben	Adsorbsi	4	(Mustapha et al., 2021)
Belum Termanfaatkan	-	73,4	

Dari tabel 2 didapatkan perolehan 73,4% TKKS yang belum termanfaatkan dan bernilai ekonomis. Oleh karenanya TKKS masih dibiarkan menumpuk sebagai limbah, belum dimanfaatkan dengan optimal. Menurut (Rehman et al., 2021) TKKS yang tidak diolah lebih dari 6 bulan akan menjadi beban lingkungan dan menimbulkan emisi karena membusuk, menimbulkan bau sehingga membentuk gas metana.

1.3 Katalis eksisting produksi biodiesel

Proses produksi biodiesel umumnya menggunakan reaksi transesterifikasi (transesterifikasi dengan metanol) yaitu reaksi antara minyak nabati dengan metanol dengan bantuan katalis basa (NaOH, KOH, atau *sodium methylate*) untuk menghasilkan campuran ester metil asam lemak dengan produk ikutan gliserol.

Saat ini, sebagian besar proses komersial yang digunakan untuk sintesis biodiesel

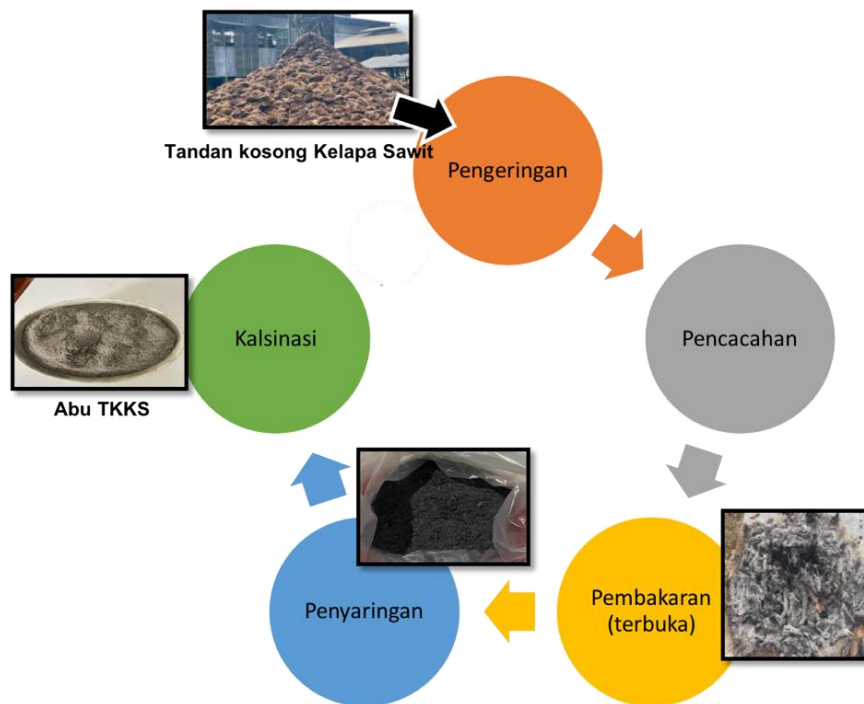
menggunakan katalis basa homogen, seperti KOH dan NaOH. Namun, katalis tersebut memiliki beberapa kelemahan, seperti korosi terhadap alat dan lamanya waktu pemisahan katalis (Hamza et al., 2020). Di sisi lain, katalis heterogen dapat menggantikan katalis homogen dalam mengatasi masalah tersebut. (Fadzilah et al., 2021; Hamza et al., 2020). Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan pembaruan katalis heterogen berbasis padat yang mudah dipisahkan dari media reaksi, dapat diregenerasi dan digunakan kembali. Salah satu katalis heterogen padat yaitu K_2O , sumber kalium yang mudah diperoleh adalah limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Balajii et al., 2019; Tan et al., 2019). Penggunaan katalis TKKS dalam produksi biodiesel mampu menghasilkan yield >90% (Lim et al., 2019; Okoye et al., 2019; Ishfaq et al., 2022).

1.4 Pengolahan tandan kosong kelapa sawit menjadi abu

Pengolahan TKKS menjadi katalis saat ini sangat terbatas terutama karena kandungan yang terdapat dalam abu berupa kelembaban dan oksigen yang tinggi, densitas energi yang rendah, sifat higroskopis dan nilai kalor yang rendah. Dengan demikian diperlukan sarana untuk meningkatkan fungsi katalis yang terdapat dalam abu dan pilihan yang paling tepat sejauh ini adalah melalui proses pembakaran yang dioperasikan sekitar 500-600C dengan adanya oksigen atau udara terbuka (Sukiran et al., 2020; Yue et al., 2017) memiliki kemampuan untuk menguraikan sebgai besar hemiselulosa dalam biomassa menjadi produk kondensasi air, asam dan bahan kimia ringan yang mudah menguap (Nam & Capareda, 2015). Untuk menghasilkan pembakaran sempurna harus menggunakan udara berlebih hal ini bertujuan untuk membuka pori katalis. Menurut (Karine et al., 2021; Sibarani et al.,

2020) bahwa sebagian besar karbon di dekomposisi kisaran >600C hal ini dipastikan bahwa kandungan oksida logam pada karbon terkonversi menjadi abu.

Pada uji coba penelitian ini TKKS diubah menjadi katalis produksi biodiesel dilakukan dengan melaksanakan tahapan preparasi sesuai skema pada Gambar 3. Tandan Kosong Sawit (kurang dari 6 bulan sejak pertama kali di olah di pabrik kelapa sawit) dikumpulkan, dipisahkan dan dikeringkan pada area terbuka, lalu dilakukan pengecilan ukuran (100-150 Mesh). Tahap pengarangan dilakukan melalui pembakaran sistem terbuka pada kisaran suhu 500-600°C. Arang-Abu yang dihasilkan dikumpulkan, disaring dengan ayakan 100 mesh. Selanjutnya abu melewati tahap kalsinasi suhu 700°C selama 5 jam menggunakan oven listrik.



Gambar 3. Tahapan Pengolahan TKKS menjadi Abu

Neraca massa pengolahan TKKS menjadi abu sawit untuk katalis pembuatan bioidesol, dimulai dengan membuat pendekatan kuantitatif atas jumlah TKKS yang dihasilkan per ton TBS. Diketahui bahwa setiap ton TBS dapat dihasilkan rata-rata 24,25 %-b TKKS. Pada uji coba pengolahan TKKS yang dilakukan sesuai tahapan pada Gambar 3 menunjukkan hasil bahwa dari setiap ton TKKS diperoleh 29,16%- b arang TKKS, tahap berikutnya (kalsinasi)

menghasilkan abu yang spesifikasinya tepat untuk fungsi katalis sebesar 51,4%.

1.5 Identifikasi dan karakteristik abu TKKS untuk katalis

Hasil analisa yang di lakukan di laboratorium Pusat Penelitian Kelapa Sawit menunjukkan bahwa salah satu keunggulan tandan kosong kelapa sawit adalah kandungan kalium (K) yang *relative* tinggi (Sutarta, 2005). Menurut

keterangan (Madhiyanon, 2013) dari hasil analisis proksimat dan komposisi abu dengan AAS didapatkan unsur logam kalium 55,48% lebih tinggi

diantara jenis logam lainnya dapat dilihat dari Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Analisis Proksimat Abu Tandan Kosong Sawit

Parameter	Nilai
Kelembapan (%-massa)	38,4
Analisa Proksimat	%-massa basis kering
Volatile	66,1
Fixed Carbon	28,4
Abu	5,5
HHV (MJ/Kg kering)	14,8
Analisa Ultimat	%-massa basis kering
C	5,4
H	0,3
S	1,1
O	47,0
Komposisi Abu	%-massa basis kering
SiO ₂	12,12
Al ₂ O ₃	0,26
CaO	9,65
MgO	1,90
Na ₂ O	0,09
K ₂ O	55,48
SO ₃	1,66
Cl	6,84
P ₂ O ₅	3,58

Hal ini juga didukung dari penelitian (Immadudin, 2008) dari hasil uji alkalinitas dengan menggunakan metode asidimetri didapatkan bahwa konsentrasi anion karbonat (375,86 g/kg) lebih besar dibandingkan dengan anion bikarbonat (43,75 g/kg) sehingga dapat disimpulkan bahwa kalium yang terdapat dalam bentuk senyawa kalium karbonat (K₂CO₃). Tingginya nilai kandungan K₂CO₃ yang terdapat pada TKKS ini dapat digunakan sebagai sumber katalis untuk transesterifikasi dalam pembentukan trigliserida. (Rezki et al., 2020)

Didukung dari hasil analisa diatas maka perlu dilakukan juga uji coba analisa abu pada penelitian ini. Dimana sampel abu yang digunakan merupakan abu yang telah terkalsinasi selama 5 jam pada suhu kalsinasi 700 °C. Tujuannya untuk meninjau lebih dalam tentang potensi pemanfaatan TKKS sebagai katalis pada produksi biodiesel. Analisa yang dilakukan adalah analisa kadar kalium dilakukan dengan alat *Spektroskopi Serapan Atom* (SSA), komposisi dari oksida logam yang terkandung dalam abu tandan kosong dilakukan dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan luas permukaan, ukuran dan volume total pori dilakukan dengan analisa *Brunauer Emmet Teller* (BET)

1.6 Karakteristik katalis dengan *Spektroskopi Serapan Atom* (SSA)

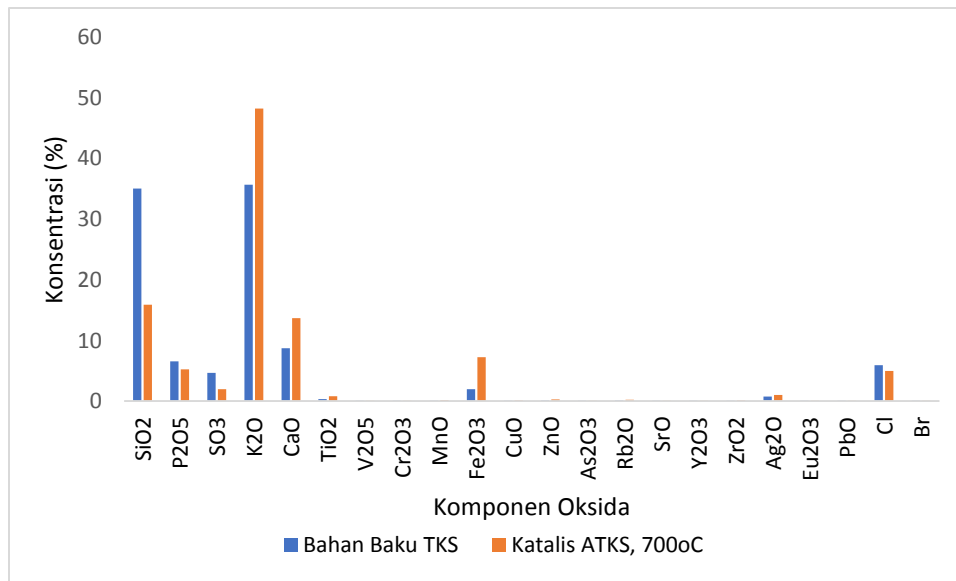
Metode analisa SSA ini merupakan metode analisa secara kualitatif yang didasarkan pada serapan atomisasi, yaitu dimana abu diuapkan dan didekomposisi untuk menghasilkan atom dalam fase gas (Gab-Allah et al., 2020). Dari hasil analisa menggunakan metode SAA menunjukkan bahwa kandungan kalium yang terdapat pada katalis abu terkalsinasi 700°C tandan kosong kelapa sawit adalah 232,6 mg/g. Untuk melihat lebih lengkap kandungan unsur-unsur lain dan oksida logam nya sebagai komponen penyusun katalis tersebut, maka dilakukan analisa lanjut dengan metode XRF.

1.7 Karakteristik katalis abu tandan kosong kelapa sawit menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Komponen dan komposisi yang terkandung dalam bahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKS) dan abu TKKS setelah di kalsinasi 700°C dianalisa dengan metode XRF, hasil analisisnya dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat bahwa tandan kosong kelapa sawit mengandung K₂O, SiO₂ dan CaO dan Fe₂O₃ dan setelah dikalsinasi terdapat kenaikan pada komposisi K₂O dari 36% naik menjadi 48%, diikuti oleh CaO dan Fe₂O₃ sedangkan SiO₂ menurun. Dimana komponen dominan dari katalis ini adalah K₂O. Pada saat pembakaran tandan kosong akan menghasilkan gas CO₂ yang berikatan dengan K₂O akan menghasilkan senyawa K₂CO₃ dalam bentuk

padatan. Untuk memastikan dalam abu tandan kosong ada senyawa K_2CO_3 maka dilakukan analisa dengan metode titrasi. Hasilnya komposisi senyawa

K_2CO_3 yang terdapat dalam abu tandan kosong kelapa sawit terkalsinasi $700^\circ C$ pada uji coba penelitian ini adalah sebesar 48,97%.



Gambar 4. Hasil Penelitian dari Komponen oksida logam dalam bahan baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS) Terkalsinasi $700^\circ C$ Selama 5 Jam.

1.8 Karakteristik katalis dengan metode BET

Karakteristik katalis dengan BET digunakan untuk mengetahui diameter, luas dan volume pori katalis. Untuk luas permukaan katalis. Sampel abu dianalisa berdasarkan sifat tekstur katalis termasuk luas permukaan spesifik dan distribusi ukuran pori dihitung mengikuti isotherm adsorbs-desorbsi nitrogen pada $77,35^\circ K$ menggunakan *Brunauer Emmet Teller* (BET). *Degassing* untuk katalis dilakukan pada $300^\circ C$ selama 1 jam untuk memastikan penghilangan uap air yang mungkin teradsorbsi dari system. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3. Tabel 4 merupakan uji coba abu terkalsinasi $700^\circ C$ pada penelitian menunjukkan luas penampang pori sebesar $16,2 A^2/mol$, diameter pori ATKS pada saat proses adsorpsi adalah 13,33 nm, dengan luas permukaan spesifik 0,0117746 pada saat terjadi adsorpsi. Dari data-data tersebut dapat diartikan bahwa proses adsorpsi dapat berlangsung dengan volume yang cukup besar dibandingkan dengan volume proses desorpsi produk keluar dari pori site aktif katalis dan ini menunjukkan bahwa reaksi akan berjalan dengan sangat baik. Efektifitas katalis Abu tandan kosong kelapa sawit (ATKS) dengan karakteristik tersebut diatas di ujicobakan pada reaksi transesterifikasi menggunakan bahan baku RBDPO (*Refined Bleached Deodorized Palm*

Oil) yang berasal dari *Crude Palm Oil* (CPO) yang sudah diproses melalui proses refinery dengan beberapa tahapan, mulai dari pretreatment, degumming, bleaching, deodorising dan fractionation sehingga kandungan asam lemaknya sudah $< 2\%$.

Jika dibandingkan pada penelitian yang dilakukan (Monir et al., 2022) menggunakan katalis K_2CO_3 komersil dengan penggunaan temperatur kalsinasi yang sama dengan kandungan kalium oksida (K_2O) nya 78%. Hal ini menunjukkan bahwa katalis abu TKKS yang diteliti memiliki nilai kandungan setengahnya dari katalis komersil dan dapat berperan sumber katalis heterogen pada transesterifikasi. Luas permukaan katalis akan mempengaruhi efektivitas katalis dan pembentukan produk. Dengan luas permukaan katalis tersebut akan memberikan luas kontak antara molekul dan reaktan katalis, kontak tersebut akan mempengaruhi proses secara keseluruhan. Luas permukaan site aktif katalis harus seimbang dengan jumlah molekul reaktan, karena ketika berat katalis di perbesar jumlahnya sedangkan mol reaktan tetap maka tabrakan dan penyebaran antar molekul reaktan pada luas permukaan site aktif yang besar menjadi lebih lemah sehingga aktivasi dan reaksi yang berlangsung pada katalis menghasilkan yield biodiesel yang kecil.

Tabel 3. Hasil Penelitian Analisis BET Abu Terkalsinasi 700°C

Parameter Analisa	Unit	Nilai
Luas Penampang Pori	A ² /mol	16,2
Luas Permukaan Spesifik	m ² /g	0,0117746
Diameter Pori Adsorpsi	nm	13,33

2. Kesimpulan

1. Limbah padat TKKS memiliki potensi untuk digunakan sebagai katalis TKKS dibuktikan dari uji analisa karakteristik katalis menggunakan metode SSA, XRF dan BET menunjukkan kadar kalium yang tinggi yaitu 48,25% dengan *cross section area* 16.2 A²/mol dengan luas permukaan 0,012 m²/g dan total volume pori katalis 0,007674 cc/g.
2. Dengan besarnya luas area perkebunan sawit dan tingginya produktivitas minyak sawit (ton per tahun), maka jumlah TKKS yang dapat dikonversi menjadi abu dan siap pakai untuk katalis produksi biodiesel tersedia dalam jumlah yang sangat memadai, yaitu 2,3 juta ton per tahun. Diperkirakan 15%-b abu dapat dihasilkan dari setiap ton TKKS yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

Amrullah, M., Mardawati, E., Kastaman, R., & Suryaningsih, S. (2020). Study of bio-briquette formulation from mixture palm oil empty fruit bunches and palm oil shells. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 443(1).
<https://doi.org/10.1088/17551315/443/1/012079>

Anyaoha, K. E., Sakrabani, R., Patchigolla, K., & Mouazen, A. M. (2018). Critical evaluation of oil palm fresh fruit bunch solid wastes as soil amendments: Prospects and challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 136(January), 399–409.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.022>

Arfiana, Finalis, E. R., Noor, I., Sumbogo Murti, S. D., Suratno, H., Rosyadi, E., Saputra, H., & Noda, R. (2021). Oil palm empty fruit bunch ash as a potassium source in the synthesis of NPK fertilizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 749(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/749/1/012038>

Balajii, M., & Niju, S. (2019). A novel biobased heterogeneous catalyst derived from *Musa acuminata* peduncle for biodiesel production – Process optimization using central composite

design. *Energy Conversion and Management*, 189(December 2018), 118–131.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.03.085>

BPS. (2020). Catalog : 1101001. *Statistik Indonesia 2020*, 1101001, 790.
<https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html>

Derman, E., Abdulla, R., Marbawi, H., & Sabullah, M. K. (2018). Oil palm empty fruit bunches as a promising feedstock for bioethanol production in Malaysia. *Renewable Energy*, 129, 285–298.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.003>

Ditjen Perkebunan Kementerian Pertanian. (2022). Statistik Perkebunan Unggulan Nasional. *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional; Ditjen Perkebunan Kementerian Pertanian(2022)*, 5(3), 248–253.

Fadzilah, R., Rashid, U., Lokman, M., Hazmi, B., Alharthi, A., & Arbi, I. (2021). Bifunctional nano-catalyst produced from palm kernel shell via hydrothermal-assisted carbonization for biodiesel production from waste cooking oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137(November 2020), 110638.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110638>

Foroutan, R., Mohammadi, R., Razeghi, J., & Ramavandi, B. (2021). Biodiesel production from edible oils using algal biochar/CaO/K₂CO₃ as a heterogeneous and recyclable catalyst. *Renewable Energy*, 168, 1207–1216.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.094>

Gab-Allah, M. A., Goda, E. S., Shehata, A. B., & Gamal, H. (2020). Critical Review on the Analytical Methods for the Determination of Sulfur and Trace Elements in Crude Oil. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 50(2), 161–178.
<https://doi.org/10.1080/10408347.2019.1599278>

Hamza, M., Ayoub, M., Shamsuddin, R. Bin, Mukhtar, A., Saqib, S., Zahid, I., Ameen, M., Ullah, S., Al-sehemi, A. G., & Ibrahim, M. (2020). Jou rna IP. *Environmental Technology*

- & *Innovation*, 101200. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101200>
- Indriati, L., Elyani, N., & Dina, S. F. (2020). Empty fruit bunches, potential fiber source for Indonesian pulp and paper industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/980/1/012045>
- Ishfaq, R., Ruslan, N. N., Jikan, S. S., Ameruddin, A. S., & Attan, N. (2022). Synthesis and Characterization of Metal Sulfates Loaded Palm Empty Fruit Bunch (PEFB) for Biodiesel Production. *Sains Malaysiana*, 51(2), 519–532. <https://doi.org/10.17576/jsm-2022-5102-16>
- Jalalmanesh, S., Kazemeini, M., Rahmani, M. H., & Zehtab Salmasi, M. (2021). Biodiesel Production from Sunflower Oil Using K₂CO₃ Impregnated Kaolin Novel Solid Base Catalyst. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98(6), 633–642. <https://doi.org/10.1002/aocs.12486>
- Karine, E., Mares, L., Arrais, M., Teresa, P., & Rafael, L. (2021). *Acai seed ash as a novel basic heterogeneous catalyst for biodiesel synthesis: Optimization of the biodiesel production process*. 299(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120887>
- Kasparbauer, R. D. (2009). *The Effects of Biomass Pretreatments on the Products of Fast Pyrolysis*. 1–294.
- Lim, S., Yi, Y. C., Ling, P. Y., & Huei, W. K. (2019). *ur na l P of. Journal of Hazardous Materials*, 121532. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121532>
- Montoya, J., Valdés, C., Chaquea, H., Pecha, M. B., & Chejne, F. (2020). Surplus electricity production and LCOE estimation in Colombian palm oil mills using empty fresh bunches (EFB) as fuel. *Energy*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117713>
- Mustapha, R., Ali, A., Subramaniam, G., Zuki, A. A. A., Awang, M., Harun, M. H. C., & Hamzah, S. (2021). Removal of malachite green dye using oil palm empty fruit bunch as a low-cost adsorbent. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(6), 14998–15008. <https://doi.org/10.33263/BRIAC116.1499815008>
- Nam, H., & Capareda, S. (2015). Experimental investigation of torrefaction of two agricultural wastes of different composition using RSM (response surface methodology). *Energy*, 91, 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.064>
- Nurdin, M., Abimanyu, H., Putriani, H., Setiawan, L. O. M. I., Maulidiyah, M., Wibowo, D., Ansharullah, A., Natsir, M., Salim, L. O. A., Arham, Z., & Mustapa, F. (2021). Optimization of OPEFB lignocellulose transformation process through ionic liquid [TEA][HSO₄] based pretreatment. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90891-3>
- Okoye, P. U., Wang, S., Xu, L., Li, S., Wang, J., & Zhang, L. (2019). Promotional effect of calcination temperature on structural evolution, basicity, and activity of oil palm empty fruit bunch derived catalyst for glycerol carbonate synthesis. *Energy Conversion and Management*, 179(September 2018), 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.013>
- Putra, M. D., Ristianingsih, Y., Jelita, R., Irawan, C., & Nata, I. F. (2017). Potential waste from palm empty fruit bunches and eggshells as a heterogeneous catalyst for biodiesel production. *RSC Advances*, 7(87), 55547–55554. <https://doi.org/10.1039/c7ra11031f>
- Rehman, S., Khairul Islam, M., Khalid Khanzada, N., Kyoungjin An, A., Chairapat, S., & Leu, S. Y. (2021). Whole sugar 2,3-butanediol fermentation for oil palm empty fruit bunches biorefinery by a newly isolated *Klebsiella pneumoniae* PM2. *Bioresource Technology*, 333(April), 125206. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125206>
- Rezki, B., Essamlali, Y., Aadil, M., Semlal, N., & Zahouily, M. (2020). Biodiesel production from rapeseed oil and low free fatty acid waste cooking oil using a cesium modified natural phosphate catalyst. *RSC Advances*, 10(67), 41065–41077. <https://doi.org/10.1039/d0ra07711a>
- Sibarani, J., Khairil, S., Yoeswono, Wijaya, K., Tahir, I., BPPT, Rahardja, I. B., Sukarman, Ramadhan, A. I., Ritonga, M. Y., Ruben, M., Giovani, R., Omotoso, M. A., Akinsanoye, O. A., Husin, H., Abubakar, A., Ramadhani, S., Sijabat, C. F. B., Hasfita, F., ... Taufiq-Yap, Y. H. (2020). Production of methyl esters from waste cooking oil and chicken fat oil via simultaneous esterification and transesterification using acid catalyst. *Energy Conversion and Management*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819709008>
- Sukiran, M. A., Abnisa, F., Syafiie, S., Wan Daud, W. M. A., Nasrin, A. B., Abdul Aziz, A., & Loh, S. K. (2020). Experimental and modelling study of the torrefaction of empty fruit bunches as a potential fuel for palm oil mill boilers.

- Biomass and Bioenergy*, 136(February), 105530.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105530>
- Suksong, W., Wongfaed, N., Sangsri, B., Kongjan, P., Prasertsan, P., Podmirseg, S. M., Insam, H., & O-Thong, S. (2020). Enhanced solid-state biomethanisation of oil palm empty fruit bunches following fungal pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 145(June 2019), 112099.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112099>
- Supriatna, J., Setiawati, M. R., Sudirja, R., Suherman, C., & Bonneau, X. (2022). Composting for a More Sustainable Palm Oil Waste Management: A Systematic Literature Review. *The Scientific World Journal*, 2022, 1–20.
<https://doi.org/10.1155/2022/5073059>
- Susanto, J. P., Santoso, A. D., & Suwedi, N. (2017). Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 165.
<https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2046>
- Tan, Y. H., Mujawar, M. N., & Kandedo, J. (2019). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.09.022>
- Yanti, R. N., Ratnaningsih, A. T., & Ikhsani, H. (2022). Pembuatan bio-briket dari produk pirolisis biochar cangkang kelapa sawit sebagai sumber energi alternatif. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 19(1), 11–18.
<https://doi.org/10.31849/jip.v19i1.7815>
- Yue, Y., Singh, H., Singh, B., & Mani, S. (2017). Torrefaction of sorghum biomass to improve fuel properties. *Bioresource Technology*, 232(February), 372–379.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.060>