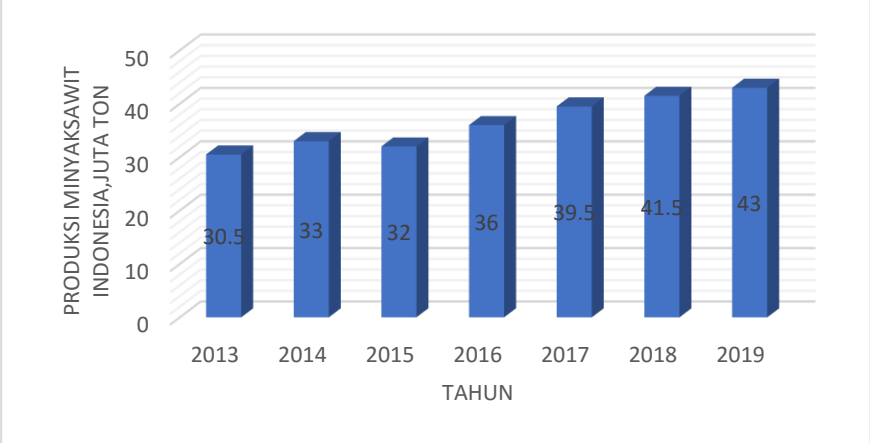
KELAPA SAWIT SEBAGAI BASIS INDONESIA PENGHASIL UTAMA BIOFUEL DAN KARBON AKTIF

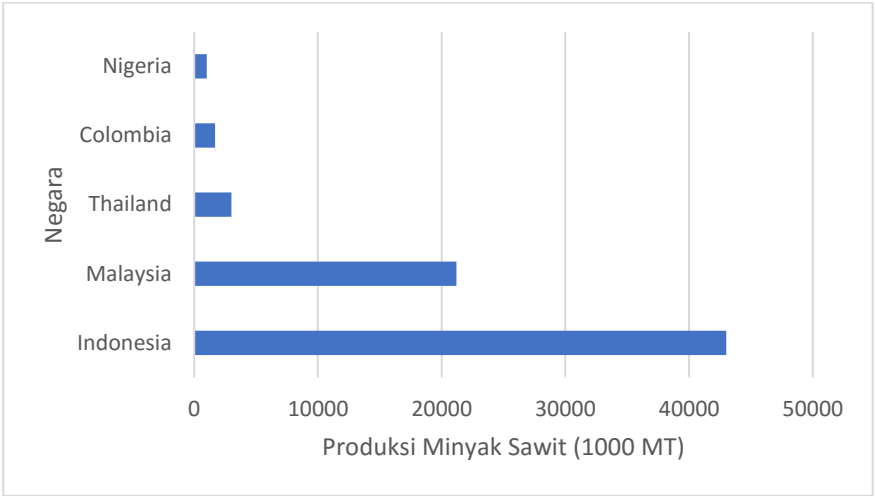
Agus Budianto, Esthi Kusdarini, Nikai Hermawan Amrullah, Azizatul Aidawiyah

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara produsen sawit dunia. Data menujukan bahwa tahun 2013 produksi minyak sawit Indonesia sebesar 30,5 juta ton dan naik 40,95 % dalam waktu 6 tahun. Tahun 2019 Produksi sawit Indonesia menjadi 43 juta ton. Perkembangan produksi minyak sawit Indonesia periode 2013-2019 dapat dilihat pada Gambar 1. Selain sebagai produsen sawit dunia, ternyata Indonesia juga sebagai pemimpin produsen sawit dunia. Gambar 2 menunjukkan bahwa Indonesia sebagai *leader* produsen sawit Dunia dengan produksi sawit lebih dari 2 kali lipat produksi minyak sawit Malaysia.



Gambar 1. Data produksi minyak sawit Indonesia tahun 2013-2019 [1].



Gambar 2. Produksi minyak sawit 5 negara utama produsen minyak sawit Dunia tahun 2019 [1].

Produksi minyak sawit 43 juta ton tersebut akan menjadikan Indonesia berpotensi menghasilkan 12,9 juta ton tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam setahun. Hal ini setara dengan 1.612.500 truk tandan kosong, suatu jumlah yang luar biasa besar. TKKS ini dapat dijadikan karbon aktif yang memenuhi standar karbon aktif bahkan bias menghasilkan karbon aktif berkualitas tinggi. Karbon aktif dapat digunakan untuk proses pemurnian pada industri, proses pengolahan air [2], proses pengelolaan limbah, proses *bleaching*, adsorpsi dan penghilang bau [3].

Pada sisi lain dengan produksi minyak sawit sebanyak 43 juta metrik ton per tahun, dengan asumsi 15 persen saja diubah menjadi biodiesel dan biofuel, dengan *yield* rata-rata 70% maka dapat memenuhi biodiesel dan biofuel 4,515 juta ton pengelolaan atau setara 3.840 juta liter biodiesel dan biofuel. Pembuatan biofuel dari CPO dan turunannya telah banyak diteliti dengan metode perengkahan dan metode transeseterifikasi-esterifikasi membentuk Fattyacidmetyl ester. Pengembangan proses perengkahan atau perengkahan banyak difokuskan pada pengembangan katalius baru yang andal dan Spesifik. Katalis HZSM-5 merupakan katalis yang andal untuk proses perengkahan [4]–[11]. Katalis ini dapat dibuat dengan metode plank maupun Latourette[6], [8], [10] dari campuran bahan kimia tertentu. beberapa peneliti mengembangkan pembuatan katalis seperti penggunaan batuan zeolite alam [12], [13]. Katalis HZSM-5 dan turunannya

banyak digunakan untuk perengkahan [4], [11], [14]–[21], selain itu katalis ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan produksi glycerol[22]. Walaupun katalis HZSM-5 terbukti mampu untuk proses perengkahan, namun demikian katalis ini memiliki kelemahan terutama yieldanselektifitas yang masih rendah [14].

Peningkatan kinerja katalis HZSM-5 dilakukan untuk meningkatkan yield produk utama, selektivitas produk, daya tahan asam dan daya tahan temperatur yang tinggi. Beberapa peneliti melakukan modifikasi dengan menambahkan logam mulia seperti platinum dan palladium[14], Penggunaan katalis Pt/HZSM-5 dan Pd/HZSM-5 memberikan perbaikan peningkatan yield produk, namun demikian karena harga logam mulia sangat mahal katalis ini belum diproduksi secara masal. Peneliti lain mencoba menggunakanCobalt dan Nickel secara bersamaan untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik dari HZSM-5 [6]. PenggunaanZn/HZSM-5 untuk memperbaiki katalis dilakukan dan terbukti mampu memperbaikiyield produk, namun demikian katalis ini pada suhu yang tinggi mengalami penurunan kemampuan [11], [23]. Katalis Zn-HZSM-5/gamma Alumina merupakan gabungan dua katalis yang berfungsi untuk proses perengkahan dan memiliki ketahanan panas. Katalis ini terbukti berhasil memproduksi biofuel dari minyak nyamplung [19], [23], [24].

Keberhasilan penggunaan katalis Zn-HZSM-5/gamma Alumina dalam mengubah minyak tumbuhan cair menjadi biofuel sangat menarik, namun demikian ada sebagian bahan baku biofuel berupa padatan. Stearin dan PFAD merupakan salah satu bahan baku padat [15], [25]–[28]. Fraksi ini kurang dikenal masyarakat umum sehingga lebih sulit dipasarkan[28]. Fraksi padat secara umum lebih sulit direngkah dibandingkan fraksi cair. Oleh karena itu penelitian untuk menguji katalis Zn-HZSM-5/gamma Alumina terhadap RBD stearin sangat menarik untuk dilakukan.

METODE

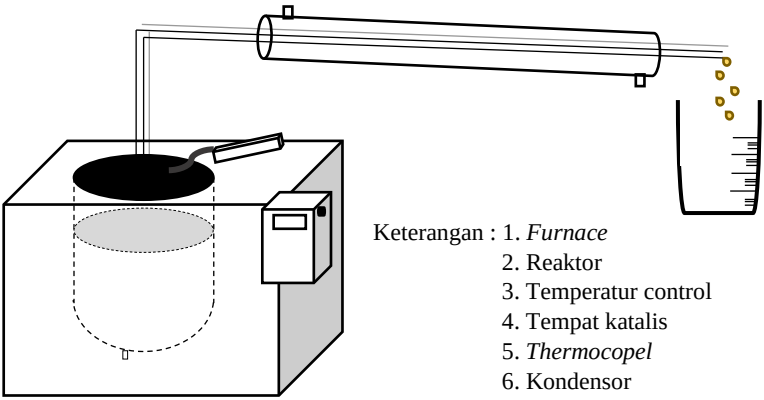
Proses pembuatan karbon aktif dari tandan kelapa sawit telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Secara umum proses dilakukan dengan langkah pengecilan ukuran, pengeringan, pirolisisis atau karbonasi, aktivasi, pencucian, pengeringan dan pengepakan. Proses pengecilan ukuran dilakukan dengan pemotongan dengan tujuan mempercepat proses pengeringan dan memudahkan penanganan dan memasukkan ke alat pirolisis.

Proses pengeringan dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi matahari, panas sisa proses, maupun pengeringan alami menggunakan udara lingkungan. Proses pirolisis atau karbonasi banyak dikembangkan dengan memanaskan pada temperatur 250 C – 450.

Salah satu penelitian yang dilaporkan ini menggunakan Bahan baku TKKS. Penelitian dimulai dengan preparasi bahan baku dengan cara pengecilan ukuran bahan menjadi potongan dengan panjang 2 cm. Bahan baku tersebut dikeringkan dan dilakukan proses karbonisasi yaitu dengan memanaskan TKKS di dalamfurnace dengan suhu 400^0C selama 4 jam dengan dialiri gas N_2. Produk karbonisasi berupa karbon. Karbon yang telah terbentuk didinginkan di dalam desikator. Setelah proses pendinginan karbon aktivasi fisika di dalam furnace pada suhu 700 selama 1 jam dan ada yang diaktifkan secara gabungan fisika dan kimia. Aktivasi Gabungan dilakukan dengan cara merendam karbon aktif menggunakan larutan H_3PO_4 dengan konsentrasi 9%, 11%, 13% dan 15% selama 22 jam. Selanjutnya karbon aktif dicuci menggunakan aquades sampai pH larutan menjadi netral, lalu dikeringkan di dalam oven selama 2 jam. Karbon aktif yang dihasilkan dianalisis untuk mendapatkan karakteristik karbon aktif tersebut yaitu kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, bilangan Iodinnya. Setelah dilakukan analisis aktif, karbon aktif dengan hasil terbaik dilakukan pengukuran luas permukaan untuk membandingkan luas permukaan karbon aktif dengan aktivasi fisika dan aktivasi gabungan (fisika dan kimia).

Proses pembuatan biofuel dari minyak sawit dilakukan dengan metode perengkahan katalitik. Penelitian dilakukan di laboratorium energi terbarukan. Bahan baku yang digunakan adalah CPO atau turunan CPO seperti RBD stearin yang tersedia di pasaran Indonesia, katalis KatalisZn-HZSM-5 terhadap *γ alumina*. Bahan baku RBD stearin dipersiapkan 1000 gram dan dimasukkan dalam reactor pada Gambar 1. Katalis Zn-HZSM-5 terhadap *γ alumina* (1:1) 10 gram dimasukkan dalam fixedbatch. Katalis ditahan dengan *glasswool* pada bagian atas dan bawah fixedbed. Reaktor diset up sesuai Gambar 1. selanjutnya pemanas reaktor dinyalakan dan di set pada temperatur 350 ^{o}C atau sesuaivariable percobaan. Ketika mencapai temperatur tersebut stearin mengalami penguapan. Uap stearin akan mengalir ke bagian atas reaktor dan melewati katalis,selanjutnya terjadi reaksi

perengkahan. Campuran produk dan reaktan yang belum bereaksi akan terdorong menuju kondensor. keran air pendingin pada kondensor dibuka, agar terjadi proses pendinginan pada kondensor. Campuran produk liquid ditampung dalam wadah selanjutnya di anlisa menggunakan *Gas Chromatographyand Massa Spectrometer* (GC-MS).



Keterangan : 1. *Furnace*
2. Reaktor
3. Temperatur control
4. Tempat katalis
5. *Thermocopel*
6. Kondensor
7. Produk *Biofuel*

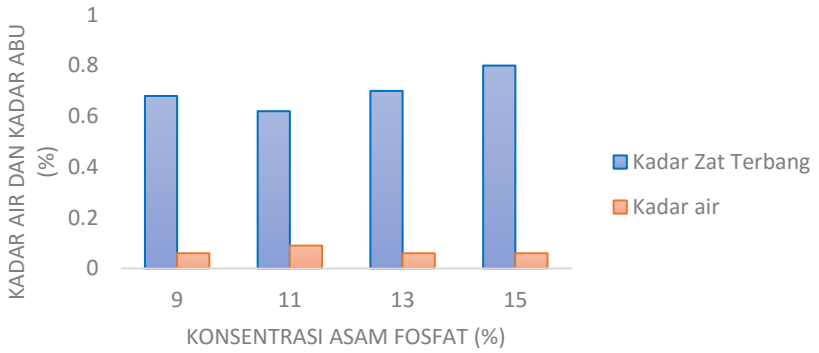
Gambar 1. Rangkaian alat perengkahan minyak Tumbuhan (CPO, Nyamlung RBD Stearin) menggunakan Katalis Zn-HZSM-5 terhadap γ alumina [28].

HASIL DAN DISKUSI

Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif dari TKKS kualitasnya diukur dengan menguji kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon terikat, bilangan iodin, dan luas permukaan. Parameter kualitas karbon aktif selanjutnya dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995. Data parameter kualitas karbon aktif dari TKKS ditampilkan pada Gambar 2, 3, 4, dan 5.

Kadar Air dan Kadar Zat terbang Karbon aktif dari TKKS



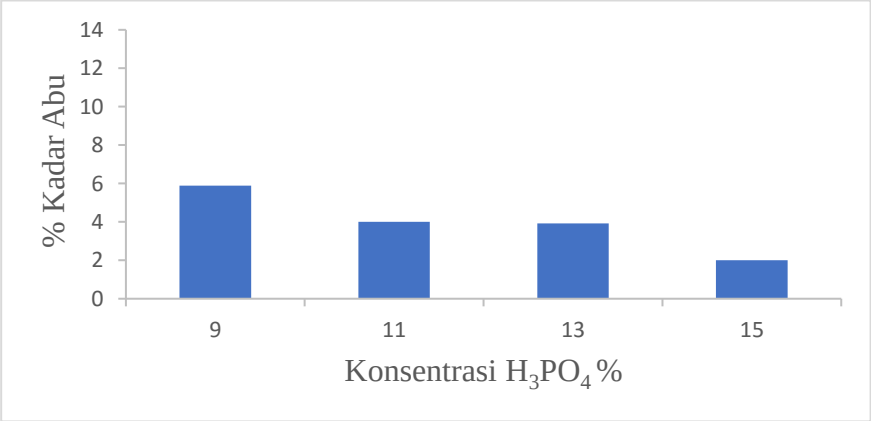
Gambar 2. Kadar abu dan kadar air karbon aktif dari TKKS yang diproses dengan aktivasi kimia dan fisika pada berbagai konsentrasi H_3PO_4.

Gambar 2. menunjukkan kadar air karbon aktif dari TKKS berada pada kisaran 0,06%-0.09%. Hal ini terjadi karena proses yang dibangun dalam pembuatan karbon aktif ini ada proses pengeringan. Pembilasan dan penggunaan larutan kimia untuk aktivasi pengaruhnya telah dinetralisir terhadap kadar air pada proses pengeringan. Kadar air dari karbon aktif ini semunya kurang dari 15%, sehingga kadar air karbon aktif ini telah memenuhi standar kualitas arang aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995. Jika dibandingkan dengan kadar air karbon aktif dari arang bakau, maka secara keseluruhan kadar air pada karbon aktif ini lebih baik, dibandingkan dengan penelitian dengan bahan baku *magrove* menggunakan *activatingagent* H_3PO_4, kadar air yang diperoleh yaitu 0,11% [29]. Rendahnya kadar air ini menggambarkan bahwa kandungan air terikat dan air bebas yang terdapat dalam bahan telah menguap selama proses karbonasi. Sebaliknya untuk kadar air yang tinggi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain adanya air terikat baik yang berbentuk uap maupun cair yang terperangkap dalam molekul arang yang tidak keluar pada waktu proses pemanasan pada suhu rendah, karena ikatan atom C pada arang belum mengalami pemecahan oleh panas dan uap air tetap terperangkap dalam ikatan molekul atom C antara atom C yang satu dengan yang lain. Sebaliknya semakin tinggi suhu aktivasi dan lama aktivasi, maka semakin banyak air yang ada dalam rongga ikatan atom C yang keluar dan menguap, karena pada suhu tinggi ikatan atom C dalam arang akan terbuka [30].

Gambar 2. juga menunjukkan kadar zat terbang karbon aktif dari TKKS berada pada kisaran antara 0,62% - 0,8%. Kadar zat terbang menunjukkan adanya zat yang terdekomposisi akibat proses pemanasan dan bukan komponen penyusun arang. Kadar zat terbang pada karbon aktif dipengaruhi oleh besarnya temperatur dan lamanya waktu karbonisasi. Konsentrasi *activatingagent* yang digunakan bisa mempengaruhi kadar zat terbang yang terkandung dalam karbon aktif. Zat terbang akan menurun seiring dengan meningkatnya suhu aktivasi karena penguraian yang kurang dari senyawa non karbon selama proses aktivasi [31].

Kadar zat terbang yang terkandung dalam karbon aktif pada penelitian ini memenuhi standar kualitas arang aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 25% untuk arang aktif bentuk serbuk. Kadar zat terbang yang terkecil terkandung dalam karbon aktif ini pada penelitian ini sebesar 0,62%, jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian pembuatan karbon aktif menggunakan aktivasi kimia H_3PO_4[31] dengan kadar zat terbang yang diperoleh yaitu 39.1%. karna pada penelitian ini menggunakan aktivasi gabungan (fisika dan kimia) yaitu aktivasi secara fisika dengan yaitu 700^0C dan aktivasi kimia menggunakan H_3PO_4. Aktivasi fisika dengan temperatur yang tinggi mengakibatkan penguraian senyawa non karbon yang kurang sempurna selama proses aktivasi sehingga kadar zat terbang pada karbon aktif relatif kecil.

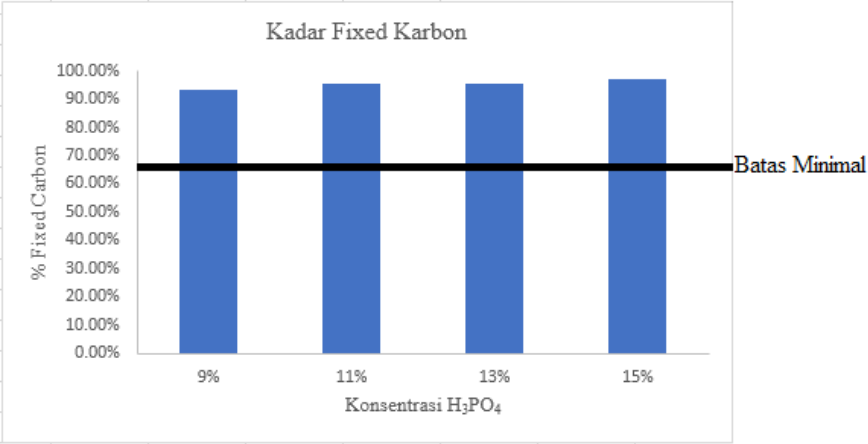
Kadar Abu aktif dari TKKS



Gambar 3. Kadar abu karbon aktif dari TKKS dengan proses aktivasi gabungan dengan berbagai konsentrasi H_3PO_4

Gambar 3. menunjukkan kadar abu karbon aktif dari TKKS berada pada kisaran 2% - 5,88%. Kadar abu karbon aktif dari TKKS tidak menunjukkan perbedaan kecil dan semuanya berada di bawah 10 %. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi kimia menggunakan *activatingagent* H_3PO_4 tidak begitu mempengaruhi kadar abu. Kadar abu karbon aktif dari TKKS ini memenuhi standar kualitas arang aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 10% untuk arang aktif bentuk serbuk. Kadar abu yang terkecil terkandung dalam karbon aktif ini pada penelitian ini sebesar 2%, dan lebih baik jika dibandingkan dengan karbon aktif yang dibuat dari bahan baku *mangrove*yaitu sebesar 6,8% [29].

Fixed Karbon

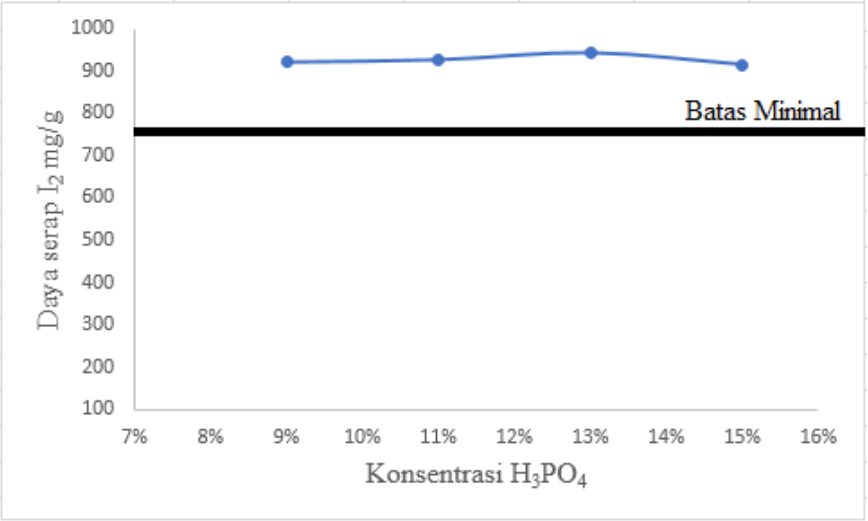


Gambar 4. Diagram persentase kadar fixedcarbon dari karbon aktif terbuat dari tandan kosomg kelapa sawit yang diaktivasi gabungan dengan berbagai konsentrasi H_3PO_4.

Gambar 4. menunjukkan kadar *fixedcarbon* dari karbon aktif yang terbuat dari tandan kosong kelapa sawit. *Fixedcarbon* zat ini berada pada kisaran 93,44% - 97,20 %. Kadar *fixedcarbon* tertinggi yaitu sebesar 97,20% terdapat pada karbon aktif dari tandan kelapa sawit yang dikativasi secara kimia menggunakan konsentrasi H_3PO_4 15%. Kadar fixed karbon daro karbon aktif TKSS ini jauh lebih tinggi dibandingkan karbon aktif dari kulit singkong yang hanya 53-73% saja [32]. Tinggi rendahnya kadar karbon terikat yang dihasilkan dipengaruhi oleh kandungan kadar

zat terbang dan abu arang aktif, semakin besar nilai kadar zat terbang dan kadar abu maka kadar karbon terikat arang aktif semakin rendah, sebaliknya semakin rendah nilai zat terbang dan kadar abu arang aktif maka nilai kadar karbon terikat akan semakin tinggi. Jika dirujuk pada syarat baku mutu kualitas karbon aktif SNI 06-3730-1995 untuk tiap variabel konsentrasi H_3PO_4 yang digunakan maka kualitas karbon aktif dari tandan kelapa sawit yang dihasilkan sudah memenuhi standar.

Bilangan Iodin



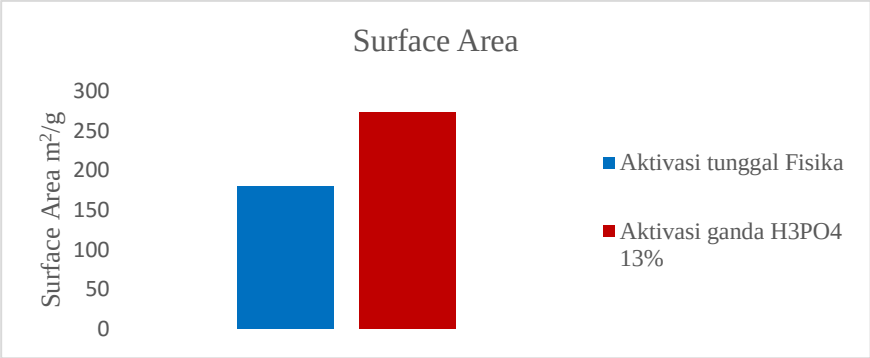
Gambar 5. Daya serap Iodin oleh karbon aktif dari TKKS pada berbagai konsentrasi H_3PO_4 sebagai activator kimia.

Gambar 5. menunjukkan daya serap Iodin oleh karbon aktif yang terbuat dari TKKS. Dari Gambar 5. ini terlihat bahwa peningkatan konsentrasi larutan H_3PO_4 dapat meningkatkan daya serap iodin oleh karbon aktif. Hal ini terjadi dikarenakan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan kimia aktivasi maka semakin kuat pengaruhnya larutan tersebut mengikat senyawa tar sisa karbonisasi untuk keluar melewati mikro pori-pori dari tandan kelapa sawit. Peningkatan daya serap ini memperlihatkan bahwa atom karbon yang membentuk kristalit heksagonal makin banyak sehingga celah atau pori yang terbentuk di antara lapisan kristalit juga makin besar [31]. Akan tetapi terjadi penurunan pada konsentrasi H_3PO_4 15% hal ini terjadi kejenuhan pada larutan

H_3PO_4 dalam proses aktivasi pori-pori dari karbon aktif sehingga mengakibatkan adanya senyawa P_2H_5 hasil dekomposisi H_3PO_4 yang berlebih dan tidak terperangkap di dalam karbon aktif yang berguna membentuk struktur mikropori dan mesopori pada struktur bagian dalam, dan ini mengakibatkan daya serap iodin dari karbon aktif berkurang.

Bilangan iodin karbon aktif dari hasil penelitian ini lebih baik dibandingkan dengan karbon aktif yang diproduksi dengan aktivasi secara kimia yang hanya mencapai 356,46 mg/g [33]. Semua variabel konsentrasi H_3PO_4 yang digunakan untuk mengaktivasi menghasilkan karbon aktif dengan bilangan Iod yang memenuhi standarSNI 06-3730-1995.

Luas Permukaan



Gambar 6. Diagram perbandingan luas permukaan karbon aktif aktivasi fisika dengan aktivasi gabungan (fisika dan kimia).

Gambar 6 menunjukkan bahwa aktivasi gabungan (fisika dan kimia) menggunakan larutan H_3PO_4 memberikan hasil yang lebih baik di bandingkan dengan aktivasi fisika, karna penambahan H_3PO_4 dapat membantu membentuk struktur mikropori dan mesopori pada permukaan karbon aktif bagian dalam yang dapat memperbesar luar permukaan dari karbon aktif. Penambahan aktivator membuat sampel arang aktif menjadi lebih transparan atau tipis sehingga daya kontak karbon akan semakin besar. Luas permukaan karbon aktif dengan aktivasi gabungan (fisika dan kimia) sebesar 272,9 m^2/g sedangkan untuk aktivasi tunggal luas permukaan yang di dapatkan sebesar 179.512 m^2/g. Hal ini menandakan bahwa volatil dan tar semakin terlepas dari

karbon karena adanya aktivator tadi. Hal tersebut akan berakibat pada semakin besarnya luas permukaan aktif dari karbon aktif tersebut [34].

Luas permukaan karbon aktif dari hasil penelitian ini lebih baik dibandingkan dengan karbon aktif yang diproduksi dengan aktivasi secara kimia yang hanya mencapai 131,27 mg/g [35]. Dikarenakan pada penelitian ini menggunakan aktivasi gabungan (fisika dan kimia) yaitu proses aktivasi dua kali yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia menggunakan larutan H_3PO_4 sebagai *activatingagent* yang dapat menambah luas permukaan dari karbon aktif.

Pembuatan Biofuel dari Turunan Minyak Sawit

Analisis tampak fisik

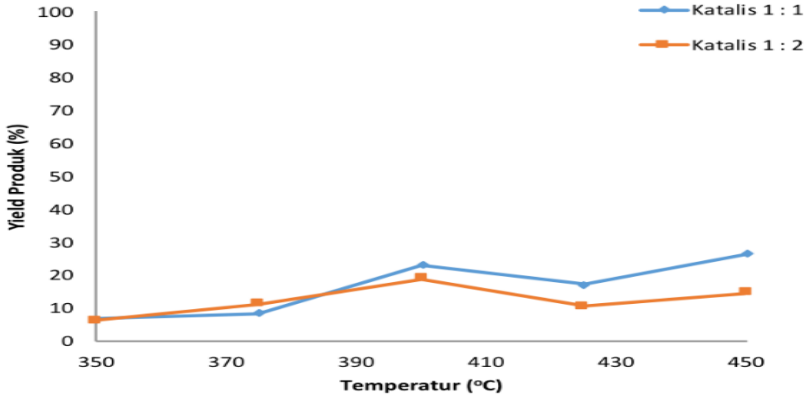
Gambar 7. Biofuel dari RBD Stearin solid dengan perengkahan katalitik pada berbagai temperatur (a)-(e) berturut-turut pada temperatur 350,375,400,425 dan 450 °C menggunakan katalis Zn-HZSM-5/ɣ alumina (1:1) [28].

Gambar 7. menunjukkan bahwa kenaikan temperatur meningkatkan tingkat kegelapan warna biofuel. Hal ini disebabkan terbentuknya karbon yang lebih tinggi pada saat kenaikan temperatur. Menurut Ashwath (2010), analisis warna merupakan pengaruh dari kadar beta-karoten dan mineral-mineral yang sangat kecil dan tidak mempengaruhi kualitas *biodiesel*

Pengaruh Temperatur dan Komposisi Katalis Zn HZSM-5/γ alumina terhadap yieldBiofuel yang dihasilkan

Yieldbiofuel dari perengkahan RBD-Stearin menggunakan katalis Zn-HZSM-5/ɣ alumina (1:1) dan (1:2) pada berbagai temperatur dapat dilihat pada Gambar 8. Yieldbiofuelliquid merupakan salah satu indikator keberhasilan katalis dalam memproduksi biofuel fraksi cair. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa kenaikan temperatur meningkatkan Yieldbiofuel cair. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian lain di mana dalam proses perengkahan katalitik semakin tinggi suhu reaksi dan waktu reaksi maka semakin besar yield[36]. Peningkatan Yieldbiofuel cair disebabkan karena aktivitas katalis pada temperatur tinggi dapat merengkah rantai karbon asam organik menjadi rantai hidrokarbon yang berada pada fraksi biokerosen, biogasoline dan biodiesel dengan melepas gas CO2 dan CO [15].



Gambar 8. Pengaruh temperatur dan perbandingan katalis terhadap yieldbiofuel cair dari RBD stearin menggunakan katalis Zn-HZSM-5/ɣ alumina (1:1) dan (1:2).

Pada komposisi katalis (1:1) kenaikan temperatur dari 350-400^{o}C menyebabkan kenaikan *yieldbiofuel cair* dari 10% hingga 21 %, namun pada range temperatur 400^{o}C – 450^{o}Cyield mengalami penurunan hingga mencapai 17,30%. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan aktivitas katalis pada berbagai temperatur. Hasil penelitian ini memiliki kesamaan hasil produksi *Biofuel* dari minyak kelapa sawit dengan katalis Au/HZSM-5 dan kompositnya. Y*ield* tertinggi pada komposisi katalis (1:1) adalah sebesar 26,40% pada temperatur 450^{o}C dan *yield* terendah diperoleh sebesar 6,70% pada temperatur 350^{o}C. Pada komposisi katalis 1: 2 *yield* produk mengalami kenaikan pada temperatur *yield* tertinggi diperoleh sebesar 18,90% pada temperatur 450^{o}C dan *yield* terendah diperoleh sebesar 6,30% pada temperatur 350 ^{o}C.

Pengaruh Temperatur dan Komposisi Katalis Zn HZSM-5/γ alumina terhadap selektivitas Biofuel yang dihasilkan

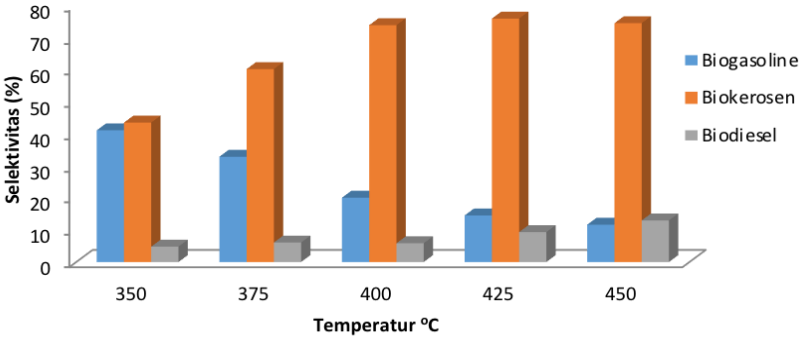
Hasil Analisis komposisi *biofuel* menggunakan kromatografi gas-spektroskopi atau GC-MS menghasilkan produk liquid berupa hidrokarbon dengan jumlah atom C6 – C30. Range jumlah atom C yang sangat lebar menyulitkan terhadap klasifikasi. Hal ini dapat di atasi dengan cara mengelompokkan komposisi biofuel cair menjadi tiga kandungan utama. Tiga kandungan utama dalam biofueltsb adalah *biogasoline*, *biokerosen*, dan *biodiesel*. Pengelompokan menjadi tiga komponen utama merujuk pada Ortega, di manabiogasoline merupakan komponen dengan jumlah carbon C6-C11, Biokerosene dengan jumlah karbon C12-C20 dan Biodiesel dengan rantai karbon C21-C30 [37].

Tabel 2. Hasil selektivitas biofuel dengan komposisi katalis Zn-HZSM-5/γ alumina 1: 1

No	Selektivitas %			
	Suhu (°C)	*Biogasoline*	*Biokerosen*	*Biodiesel*
1	350	41,22	51,94	0,86
2	375	29,30	54,33	11,94
3	400	25,80	67,39	6,22
4	425	12,68	72,50	13,51
5	450	16,22	71,46	8,94

Tabel 3. Hasil selektivitas biofuel dengan komposisi katalis Zn-HZSM-5/γ alumina 1: 2

No	Selektivitas %			
	Suhu (°C)	*Biogasoline*	*Biokerosen*	*Biodiesel*
1	350	41,09	43,50	4,80
2	375	32,85	60,18	6,08
3	400	20,07	73,90	5,86
4	425	14,52	75,94	9,33
5	450	11,65	74,52	12,98

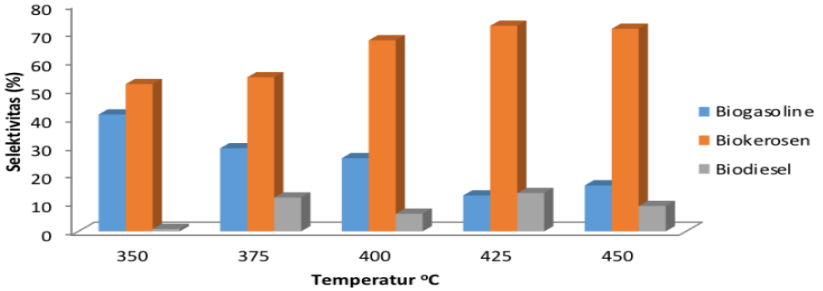


Gambar 9. Pengaruh Temperatur dan katalis Zn-HZSM-5/ γ alumina dengan komposisi 1: 1 terhadap selektifitasbiofuel[28].

Gambar 9. menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka selektivitas*biogasoline* yang diperoleh semakin rendah, dapatdilihat bahwa selektivitas *biogasoline*mencapai nilai maksimal sebesar 41,09% pada temperatur 350 °C, kemudian terus turun seiring dengan kenaikan temperatur. Hal ini disebabkan karena pada temperatur yang tinggi terjadi peningkatan pada produk gas karena bertambahnya produk perengkahan. Hasil penelitian memiliki kesamaan tren dengan penelitian pembuatan biofuel dari minyak bintaro. Penelitian tersebut menunjukkansemakin tinggi suhu perengkahan maka semakin rendah selektivitas *biogasoline*[10].Selektifitasbiogasoline proses pada penelitian ini lebih baik dibandingkan dengan selektivitas*gasoline* dari plastikjeni PET yang hanya mencapai 20,93% [38]. Selektivitas *biokerosen*e terus naik seiring dengan kenaikan temperatur hingga mencapai nilai maksimal sebesar 75,94% pada temperatur425°C, kemudian mengalami penurunan pada suhu 450 °C. Sementara selektivitas *biodiesel* terus naik seiring dengan kenaikan temperatur yaitu dengan nilai maksimal sebesar 12,98% pada temperatur 450°C, hal ini disebabkan karena pada kenaikan selektivitas *biodiesel* dan *biokerosen* dipicu oleh pengaruh katalis Zn-HZSM-5.

Gambar 9. juga menunjukkan bahwa suhu 350°C adalah suhu yang paling optimal untuk mendapatkan selektivitas *biogasoline*, sementara itu selektivitas *biokerosen* yang paling optimal pada suhu 425 °C dan *biodiesel* yang paling optimal tercapai pada suhu 450°C. Hal ini menunjukkan bahwa salah satu

faktor yang berpengaruh besar terhadap selektivitas *biogasoline*, *biodiesel*, dan *biokerosen* adalah temperatur perengkahan.



Gambar 10. Pengaruh Temperatur dan katalis Zn-HZSM-5/ ɣ alumina dengan komposisi 1: 2 terhadap selektivitas biofuel

Gambar 10.menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka selektivitas*biogasoline* yang diperoleh semakin rendah, dapatdilihat bahwa terjadi penurunan selektivitas *biogasoline*pada temperatur 350 ^{o}C hingga pada temperatur 425 ^{o}C dari 47,45 % menjadi 15,19 %, kemudian terjadi kenaikan. pada temperatur 450^{o}C menjadi 19,26 %. Selanjutnya dengan terjadinya kenaikan temperatur, selektivitas *biofuel* mulai menurun hal ini disebabkan aktivitas katalis mulai menurun dengan naiknya temperatur, sebab pada temperatur yang tinggi keasaman katalis meningkat sehingga konversi yang dihasilkan semakin besar, jika konversi meningkat maka selektivitas dari produk akan menurun.

Selektivitas *biokerosen* mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan temperatur yaitu pada temperatur 350^{o}C hingga temperatur 450^{o}C dari 48,94 % menjadi 69,43.% Sementara selektivitas *biodiesel* terus naik seiring dengan kenaikan temperatur yaitu dengan nilai maksimal sebesar 14,75 % pada temperatur 425^{o}C dan mengalami penurunan pada temperatur 450 ^{o}C sebesar 8.30 %. Gambar 6 juga menunjukkan bahwa pada suhu 350 ^{o}C terjadi kondisi optimal untuk mendapatkan selektivitas *biogasoline*, sementara itu selektivitas *biokerosen* dan *biodiesel* yang paling optimal pada suhu 450 ^{o}C. Meninjau hasil perhitungan selektivitas yang diperoleh dari seluruh penelitian dengan berbagai variabel, selektivitas *biogasoline* tertinggi adalah sebesar 48,11% diperoleh pada penggunaan katalis Zn-HZSM-5/ *ɣ alumina* dengan komposisi 1: 1 pada suhu 350 ^{o}C. Selektivitas *biokerosen* dan *biodiesel* tertinggi diperoleh pada penggunaan

katalis yang sama pada suhu 450 ^{o}C sebesar 72,05 % untuk *biokerosen* dan 12,26 % untuk *biodiesel*.

KESIMPULAN

Produk utama minyak sawit selain CPO dan turunannya adalah TKKS. Uji coba membuat karbon aktif dari tandan kelapa sawit menunjukkan bahwa karbon aktif yang di hasilkan memenuhi standar SNI, hasil terbaik pada variabel aktivasi gabungan (fisika dan kimia) dengan konsentrasi H_3PO_4 sebesar 13% dengan nilai parameter yang di ukur yaitu Kadar air: 3%, kadar abu: 3,92%, Kadar zat terbang 0,7%, Kadar karbon terikat: 95,38%, bilangan Iod: 945,47 mg/g. Bilangan Iod yang dihasilkan untuk karbon aktif dengan aktivasi gabungan fisika dan kimia memberikan bilangan Iod lebih baik dibandingkan dengan aktivasi fisika dengan bilangan Iod sebesar 945,47 mg/g, sedangkan untuk aktivasi fisika bilangan Iod yang didapat sebesar 913,752 mg/g. Perlakuan aktivasi gabungan fisika dan kimia dengan menggunakan H_3PO_4 menghasilkan nilai luas permukaan yang lebih baik dari perlakuan aktivasi fisika, dengan nilai luas permukaan karbon aktif sebesar 272,9 m^2/g sedangkan pada aktivasi tunggal fisika luas permukaan yang dihasilkan sebesar 179.512 m^2/g.

Uji coba penggunaan katalis Zn-HZSM-5 terhadap γ alumina terhadap perengkahan RBD stearin terbukti menghasilkan biofuel. Katalis Zn-HZSM-5/γ alumina (1:1) memberikan yield lebih tinggi dibandingkan Zn-HZSM-5/γ alumina (1:2). Selektivitas *biogasoline* tertinggi dicapai 48,11% dengan katalis Zn-HZSM-5/ *γ alumina* (1:1) pada suhu 350 ^{o}C. Selektivitas *biokerosen* dan *biodiesel* tertinggi dicapai dengan katalis Zn-HZSM-5/ *γ alumina* (1:1) pada suhu 450 ^{o}C sebesar 72,05 % untuk *biokerosen* dan 12,26 % untuk *biodiesel*. Katalis Zn-HZSM-5 terhadap γ alumina (1:1) memberikan dua produk utama yang dapat dipilih yaitu biogasolin dan biokeresen, dengan kondisi temperatur yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Buku ini ditulis berdasarkan hasil riset. Sebagian riset ini di danai oleh DRPM Kementerian Ristek Dikti Republik Indonesia. Dana disalurkan melalui LLDIKTI VII Surabaya. Terima kasih disampaikan pada Pimpinan DRPM, LLDIKTI VII, YPTS dan ITATS serta semua pihak yang telah membantu keberhasilan penelitian ini.

REFERENSI

[1] index mundi, “Indonesia Palm Oil Production by Year,” 2016. [Online]. Available: http://www.indexmundi.com/agriculture/?country=id&commodity=palm-oil&graph=production.

[2] W. Mangkurat *et al.*, “Penurunan Kadar Amonia , Nitrit , dan Nitrat pada Air Sungai Menggunakan Karbon Aktif sebagai Solusi Efisiensi Chlorine,” pp. 279–284.

[3] A. Budianto, R. Romiarto, and F. Fitrianingtyas, “PEMANFAATAAN LIMBAH KAKAO (Theobroma cacao L) SEBAGAI KARBON AKTIF DENGAN AKTIFATOR TERMAL DAN KIMIA,” 2016, pp. 1–8.

[4] S. Bhatia, A. R. Mohamed, and N. A. A. Shah, “Composites as perengkahan catalysts in the production of biofuel from palm oil: Deactivation studies,” *Chem. Eng. J.*, vol. 155, no. 1–2, pp. 347–354, 2009.

[5] N. Sirajudin, K. Jusoff, S. Yani, L. Ifa, and A. Roesyadi, “Biofuel production from catalytic perengkahan of palm oil,” *World Appl. Sci. J.*, vol. 26, no. 26, pp. 67–71, 2013.

[6] L. Marlinda, “Rekayasa Katalis Double Promotor Berbasis Hierarchical H-ZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari Minyak Nabati,” p. 152, 2017.

[7] A. Roesyadi, D. Hariprajitno, N. Nurjannah, and S. D. Savitri, “HZSM-5 catalyst for perengkahan palm oil to gasoline: A comparative study with and without impregnation,” *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 7, no. 3, pp. 185–190, 2013.

[8] A. Budianto, D. H. Prajito, K. Budhikarjono, and R. Achmad, “REKAYASA KATALIS KOMPOSIT BERBASIS ZEOLIT UNTUK PROSES PERENGKAHAN PALM OIL MENJADI BIOFUEL : Pembuatan katalis Pd-HZSM-5,” 2008.

[9] Y. W. Mirzayanti, D. H. Prajitno, and A. Roesyadi, “Catalytic hydroperengkahan of Kapuk seed oil (Ceiba pentandra) to produce biofuel using Zn-Mo supported HZSM-5 catalyst,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 67, no. 1, 2017.

[10] M. Iqbal, V. Purnomo, and D. H. Prajitno, “Rekayasa Katalis Ni/Zn-HZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari

Minyak Bintaro," *J. Tek. Pomits*, vol. Vol 3, no. 2, pp. 153–157, 2014.

[11] A. Budianto, D. H. Prajitno, and K. Budhikarjono, "Biofuel production from candlenut oil using catalytic perengkahan process with Zn/HZSM-5 catalyst," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 11, pp. 2121–2124, 2014.

[12] D. Widiana, H. Saputra, J. T. Kimia, U. Lampung, and B. Lampung, "Sintesis H-ZSM-5 dari Zeolit Alam Lampung (ZAL) dengan Sumber Silika Penambah Bagasse Fly Ash (BFA) (Penentuan Rasio TPABr / SiO 2 untuk Memperoleh Produk H-ZSM-5 yang memiliki Kristalinitas Optimum)," vol. 5, no. November, pp. 273–283, 2013.

[13] A. Nurdin, H. Saputra, A. Arfiana, R. Yunilawati, and E. R. Finalis, "Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis Zeolit Zsm-5 Untuk Konversi Bioetanol Menjadi Bioetilena," *Maj. Ilm. Pengkaj. Ind.*, vol. 12, no. 2, p. 79, 2018.

[14] A. Budianto, D. H. Prajitno, A. Roesyadi, and K. Budhikarjono, "Hzsm-5 catalyst for perengkahan palm oil to biodiesel: A comparative study with and without pt and pd impregnation," *Sci. Study Res. Chem. Chem. Eng. Biotechnol. Food Ind.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–90, 2014.

[15] R. Tambun, R. P. Saptawaldi, M. A. Nasution, and O. N. Gusti, "Pembuatan Biofuel dari Palm Stearin dengan Proses Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis ZSM-5," *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, vol. 11, no. 1, p. 46, 2016.

[16] R. Rasyid, A. Prihartantyo, M. Mahfud, and A. Roesyadi, "Hydroperengkahan of Calophyllum inophyllum oil with non-sulfide CoMo catalysts," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 10, no. 1, pp. 61–69, 2015.

[17] Y. W. Mirzayanti, F. Kurniawansyah, D. H. Prajitno, and A. Roesyadi, "Zn-Mo/HZSM-5 catalyst for gasoil range hydrocarbon production by catalytic hydroperengkahan of ceiba pentandra oil," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 13, no. 1, pp. 136–143, 2018.

[18] E. Y. Emori, F. H. Hirashima, C. H. Zandonai, C. A. Ortiz-Bravo, N. R. C. Fernandes-Machado, and M. H. N. Olsen-Scaliante, "Catalytic perengkahan of soybean oil using ZSM5 zeolite," *Catal. Today*, vol. 279, 2017.

[19] B. Agus, S. Sumari, P. Wahyu Setyo, and Wahyudi, "Production of Various Chemicals from Nyamplung Oil with

Catalytic Perengkahan Process," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 37, pp. 1–7, 2018.

[20] M. A. Hazzamy and I. Zahrina, "Pembuatan Biofuel dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Catalytic Perengkahan dengan Katalis Fly Ash," 2013.

[21] E. Buzetzki, K. Sidorová, Z. Cvengrošová, A. Kaszonyi, and J. Cvengroš, "The influence of zeolite catalysts on the products of rapeseed oil perengkahan," *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 8, pp. 1623–1631, 2011.

[22] S. Sumari, F. Fajaroh, I. Bagus Suryadharma, A. Santoso, and A. Budianto, "Zeolite Impregnated with Ag as Catalysts for Glycerol Conversion to Ethanol Assisted by Ultrasonic," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 515, no. 1.

[23] A. Budianto, S. Sumari, and K. Udyani, "Biofuel production from nyamplung oil using catalytic perengkahan process with Zn-HZSM-5/γ alumina catalyst," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 22, pp. 10317–10323, 2015.

[24] A. Budianto, W. S. Pambudi, S. Sumari, and A. Yulianto, "PID control design for biofuel furnace using arduino," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 16, no. 6, 2018.

[25] M. Y. Annur, Y. Yelmida, and Z. Zultiniar, "Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate Menjadi Biofuel Menggunakan katalis Natrium Karbonat dengan variasi Temperatur dan Konsentrasi katalis Natrium Karbonat," *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2015.

[26] B. Blesvid, Yelmida, and Zultinar, "Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Biofuel Dengan Katalis Abu TKS Variasi Temperatur dan Berat Katalis," *J. Rekayasa Kim. dan Lingkung.*, vol. vol 10 No, pp. 1–6, 2013.

[27] D. S. Hajj, D. A. Rp, and A. Budianto, "Pembuatan Biofuel dengan Proses Perengkahan dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menggunakan Katalis CaO," pp. 607–614.

[28] A. Budianto, S. Sumari, W. S. Pambudi, and N. Andriani, "Uji Coba Produksi Biofuel dari RBD Stearin dalam Reaktor Fixed Bed dengan Metode Perengkahan," in *Prosiding*

Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan, 2019, pp. 735–740.

[29] A. Budianto, E. Kusdarini, S. S. W. Effendi, and M. Aziz, “The Production of Activated Carbon from Indonesian Mangrove Charcoal,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 462, no. 1.

[30] F. F. Polii, “PENGARUH SUHU DAN LAMA AKTIVASI TERHADAP MUTU ARANG AKTIF DARI KAYU KELAPA. (Effects of Activation Temperatur and Duration Time on the Quality of the Active Charcoal of Coconut Wood).,” *J. Ind. Has. Perkeb.*, vol. 12, no. 2, pp. 21–28, 2017.

[31] E. Kusdarini, A. Budianto, and D. Ghafarunnisa, “Produksi Karbon Aktif dari Batu bara Bituminus dengan Aktivasi Tunggal H3PO4, Kombinasi H3PO4-NH4HCO3, dan Termal,” *Reaktor*, vol. 17, no. 2, pp. 74–80, 2017.

[32] D. Y. Purwaningsih, A. Budianto, A. A. Ningrum, and B. T. Kosagi, “Produksi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Aktivasi Kimia Fisika Menggunakan Gelombang Mikro,” in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII*, 2019, pp. 663–670.

[33] N. Intarachandra, S. Siriworakon, and T. Sangmanee, “Preparation of oil palm empty fruit bunch based activated carbon for adsorption of dye from aqueous solution,” *MATEC Web Conf.*, vol. 268, p. 06008, 2019.

[34] L. M. Yuningsih, D. Mulyadi, and A. J. Kurnia, “Pengaruh Aktivasi Arang Aktif dari Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa Terhadap Luas Permukaan dan Daya Jerap Iodin,” *J. Kim. Val.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–34, 2016.

[35] R. Kurniawan, M. Lutfi, and W. N. Agung, “Karakterisasi Luas Permukaan Bet (Braunanear , Emmelt dan Teller) Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Aktivasi Asam Fosfat Characterization of Bete Surface Area (Braunanear , Emmelt Dan Teller) Activated Carbon fro,” vol. 2, no. 1, pp. 15–20, 2014.

[36] E. Kozliak *et al.*, “Non-catalytic perengkahan of jojoba oil to produce fuel and chemical by-products,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 43, no. 1, pp. 386–392, 2013.

[37] D. Ortega, L. Noreña, J. Aguilar, I. Hernández, and V. Ramírez, “Recycling of plastic materials employing zeolite

and MCM-41 materials," *Rev. Mex. Ing. Química*, vol. 5, no. 3, pp. 189–195, 2006.

[38] A. Budianto, "Pirolisiss Botol Plastik Bekas Minuman Air Mnieral Jenis Pet Menjadi Fuel," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. V*, pp. 201–206, 2017.