

TESIS
APLIKASI KATALIS BERBASIS K_2CO_3 DARI
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK
PRODUKSI BIODIESEL



CINDY PAKPAHAN
03012682024006

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024

TESIS
APLIKASI KATALIS BERBASIS K_2CO_3 DARI
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK
PRODUKSI BIODIESEL

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



CINDY PAKPAHAN
03012682024006

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024

HALAMAN PENGESAHAN

APLIKASI KATALIS BERBASIS K_2CO_3 DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK PRODUKSI BIODIESEL

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Magister
Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Palembang, Juli 2024

Menyetujui,
Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA
NIP 19601011 198503 2002

Pembimbing II



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP 19750201 200012 2001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia,



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

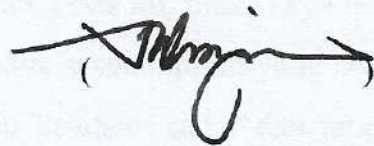
Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Akhir Tesis dengan judul “Aplikasi Katalis Berbasis K_2CO_3 dari Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Produksi Biodiesel” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Januari 2024

Palembang, 11 Januari 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

1. Prof. Ir. Subriyer Nasir, MS., Ph.D
NIP. 196009091987031004

()

Anggota :

2. Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T
NIP. 197808222002122001
3. Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T
NIP. 197503261999032002
4. Dr. David Bahrin, S.T., M.T
NIP. 19811031200501100

()
()
()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,

()
Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia,

()
Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Cindy Pakpahan

NIM : 03012682024006

Judul : Aplikasi Katalis Berbasis K_2CO_3 dari Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk
Produksi Biodiesel

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Januari 2024

Cindy Pakpahan
Cindy Pakpahan
NIM. 06012682024006

RINGKASAN

APLIKASI KATALIS BERBASIS K_2CO_3 DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK PRODUKSI BIODIESEL

Karya tulis ilmiah berupa tesis, Januari 2024

Cindy Pakpahan, dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA dan Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T

Application of K_2CO_3 -Based Catalyst from Palm Oil Empty Fruit Bunches for Biodiesel Production

xv + 52 halaman, 10 tabel, 16 gambar, 3 lampiran

RINGKASAN

Aplikasi katalis berbasis K_2CO_3 dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) bertujuan untuk memanfaatkan dan mengolah limbah biomassa. TKKS memiliki kandungan K_2CO_3 yang dibutuhkan sebagai bahan baku pembuatan katalis. K_2CO_3 dalam TKKS diperoleh dengan metode ekstraksi padat-cair (*leaching*). Kandungan kalium dalam abu TKKS dan padatan yang dihasilkan dari ekstraksi dievaluasi menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*). Hasil analisis menunjukkan kandungan kalium pada padatan hasil ekstraksi sebesar 82,532% dan kandungan K_2CO_3 sebesar 85,91%. K_2CO_3 hasil ekstraksi digunakan untuk sintesis katalis dengan gliserol. Katalis ini digunakan untuk reaksi transesterifikasi dari RBDPO dan metanol. Pengaruh katalis dalam pembuatan biodiesel diamati dan dievaluasi berdasarkan karakterisasi biodiesel dari SNI 7182:2015. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh rasio molar katalis dan jumlah katalis dalam biodiesel. Hasil pengujian pada parameter, kondisi optimum sintesis biodiesel adalah jumlah katalis 4% yang diperoleh dari variasi rasio molar katalis 1:3,5. Kondisi tersebut menghasilkan densitas 884 kg/m^3 , viskositas 4,0308 cSt, angka asam 0,1772 mg-KOH/gr, gliserol total 0,181510%-massa, dan 98,49% yield. Katalis yang menghasilkan kondisi optimum juga dievaluasi berdasarkan densitas, viskositas, pH, dan interaksi antara konstituen DES menggunakan FTIR. Hasil penelitian menunjukkan nilai densitas katalis DES $1487,5 \text{ kg/m}^3$, viskositas 28250 cP, pH 13 (*alkaline-based*), dan gugus fungsi utama berupa ikatan hidrogen yang ditinjau pada grafik FTIR memiliki puncak di daerah $3264,89 \text{ cm}^{-1}$.

SUMMARY

APLIKASI KATALIS BERBASIS K_2CO_3 DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT UNTUK PRODUKSI BODIESEL

Karya tulis ilmiah berupa tesis, Januari 2024

Cindy Pakpahan, dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA dan Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T

Application of K_2CO_3 -Based Catalyst from Palm Oil Empty Fruit Bunches for Biodiesel Production

xv + 52 pages, 10 tables, 16 figures, 3 attachments

SUMMARY

The application of K_2CO_3 -based catalysts from oil palm empty fruit bunches (EFB) aims to utilize and process biomass waste. TKKS contains K_2CO_3 which is needed as a raw material for catalyst production. K_2CO_3 in TKKS is obtained by solid-liquid extraction (leaching) method. The potassium content in the TKKS ash and solids resulting from the extraction was evaluated using XRF (X-Ray Fluorescence). The analysis showed that the potassium content in the extracted solids was 82.532%. The detected potassium was analyzed as K_2CO_3 with a content of 85.91%. Catalyst in the form of Deep Eutectic Solvent (DES) was produced from K_2CO_3 based TKKS and glycerol. The catalyst was used in the transesterification reaction of RBDPO and methanol. The effect of catalyst in biodiesel production was observed and evaluated based on biodiesel characterization from SNI 7182:2015. The parameters measured were density, viscosity, acid number, total glycerol content, and % yield produced. The results showed the effect of catalyst molar ratio and the amount of catalyst in biodiesel. The optimum condition for biodiesel synthesis is the amount of catalyst 4% obtained from the variation of catalyst molar ratio 1:3.5. These conditions resulted in a density of 884 kg/m³, viscosity of 4.0308 cSt, acid number of 0.1772 mg-KOH/gr, total glycerol of 0.181510%-mass, and 98.49% yield. The catalyst that produced the optimum condition was also evaluated based on density, viscosity, pH, and interaction between DES constituents using FTIR. The results showed the DES catalyst density value of 1487.5 kg/m³, viscosity of 28250 cP, pH of 13 (alkaline-based), and the main functional group in the form of hydrogen bonds reviewed on the FTIR graph has a peak in the 3264,89 cm⁻¹ region.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis yang berjudul “Aplikasi Katalis Berbasis K_2CO_3 dari Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Produksi Biodiesel”. Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan pada program magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tesis ini, terutama kepada:

1. Prof. Dr. Taufiq Marwa, SE., M.Si selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Selpiana, S.T., M.T. sebagai Koordinator Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
4. Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T. sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan sebagai dosen pembimbing kedua yang memberikan bimbingan hingga laporan tesis ini dapat selesai dengan baik.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA sebagai Dosen pembimbing pertama yang memberikan bimbingan hingga laporan tesis ini dapat selesai dengan baik.
6. Prof. Ir. Subriyer Nasir, MS., Ph.D, Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T, Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T. dan Dr. David Bahrin, S.T., M.T. selaku dosen penguji tesis yang telah turut serta membantu, mengarahkan, dan memberikan ilmu agar tesis ini menjadi lebih baik lagi.
7. Ibu Desi Erisna, S.T. sebagai analis laboratorium Rekayasa Energi dan Pengolahan Limbah.

8. Seluruh Dosen pengajar dan staff Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
9. Kedua orang tua terkasih Ayahanda Hibur Pakpahan, S.E dan Ibunda Evelina Manullang, S.Pd yang telah mendidik, membimbing, mendoakan serta selalu memberikan dukungan baik moril maupun materiil.
10. Saudara/i (Morry M. Pakpahan, S.E., Hillary Claudia J., S.E., S.Pd., Juvelt M. Pakpahan, S.Sos., NS. Margaretha Dwi Utami Br Manullang, S.Kep., Theresia Enim Agusdi, S.Tr.T., Junanda Auditya Onasis, S.TP., Jeremi Octavianus, Alvina, dan keponakan cantik Alinea Vellora Pakpahan), serta semua keluarga besar yang selalu memberikan semangat dan doa.
11. Sahabat terkasih Apriyanti Lasmaria Tampubolon, Amd.A.B., dan Ade Indriani Siagian, S.Ikom., S.E yang selalu memberikan semangat, menjadi wadah kegundahan, dan rumah kedua sejak masa SMP.
12. Teman-teman Magister Teknik Kimia Program Studi Teknologi Lingkungan Angkatan 2020.
13. Seluruh pihak yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari para pembaca sangat penulis harapkan sebagai upaya peningkatan kualitas dari Tesis ini.

Palembang, Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
RINGKASAN.....	vi
SUMMARY	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Hipotesis	4
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	5
1.6. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Kelapa Sawit	6
2.2. Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	9
2.3. K_2CO_3	10
2.4. Ekstraksi Padat Cair (<i>Leaching</i>)	11
2.5. Biodiesel	12
2.5.1. Syarat Mutu Biodiesel	13
2.5.2. Kelebihan dan Kekurangan Biodiesel	14
2.6. Reaksi Transesterifikasi.....	15
2.7. Bahan Baku Pembuatan Biodiesel	17

2.7.1. <i>Refined, Bleached, and Deodorized Palm Oil (RBDPO)</i>	17
2.7.2. Metanol.....	17
2.8. Katalis.....	18
2.8.1. Katalis DES	19
2.8.2. Sifat Katalis DES	21
2.9. Penelitian Terdahulu.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian.....	26
3.3. Variabel Penelitian	26
3.4. Rancangan Penelitian	26
3.5. Metode Pengolahan dan Analisis Data.....	29
3.5.1. Analisis Katalis DES-KG	29
3.5.2. Analisis Biodiesel	29
3.5.3. Analisis Data.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Potensi Ekstraksi Kalium dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit..	33
4.2. Kadar Kalium Abu TKKS Hasil Pembakaran, Abu TKKS Kalsinasi, Padatan K ₂ CO ₃ Hasil Ekstraksi, dan Abu Residu Ekstraksi	37
4.3. Karakteristik Katalis DES-KG.....	39
4.3.1. Pengaruh Rasio Molar K ₂ CO ₃ /Gliserol terhadap Densitas Katalis....	39
4.3.2. Pengaruh Rasio Molar K ₂ CO ₃ /Gliserol terhadap pH Katalis	40
4.3.3. Pengaruh Rasio Molar K ₂ CO ₃ /Gliserol terhadap Viskositas Katalis.	41
4.3.4. Analisa Katalis Menggunakan FTIR.....	42
4.4. Karakteristik Biodiesel yang Dihasilkan dengan Perbandingan SNI 7182:2015	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran.....	50

DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Produksi Kelapa Sawit di Indonesia Tahun 2012-2022.....	7
Gambar 2.2. Proses Pengolahan CPO menjadi RBDPO.....	8
Gambar 2.3. Ekstraksi Padat-Cair	11
Gambar 2.4. Total Produksi Biodiesel di Indonesia	12
Gambar 2.5. Reaksi Transesterifikasi	16
Gambar 2.6. Struktur Garam Halida dan Ikatan Hidrogen Donor yang Digunakan untuk Sintesis DES	21
Gambar 4.1. <i>Pre-Treatment</i> Abu TKKS	33
Gambar 4.2. Ekstraksi K_2CO_3 TKKS (per 50 gr Abu TKKS)	34
Gambar 4.3. Spektrum FTIR dari K_2CO_3 TKKS dan K_2CO_3 Industri	34
Gambar 4.4. Katalis DES-KG1	39
Gambar 4.5. Densitas Katalis DES-KG berdasarkan Rasio Molar	40
Gambar 4.6. Viskositas Katalis DES-KG berdasarkan Rasio Molar.....	41
Gambar 4.7. Spektrum FTIR dari Katalis DES-KG2	43
Gambar 4.8. Pengaruh Load Katalis dan Rasio Molar Katalis DES-KG terhadap Total Gliserol	45
Gambar 4.9. Pengaruh Load Katalis dan Rasio Molar Katalis DES-KG terhadap Angka Asam Biodiesel	47
Gambar 4.10. Pengaruh Load Katalis dan Rasio Molar Katalis DES terhadap % Yield Biodiesel.....	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Syarat Mutu <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) berdasarkan SNI 01-2901-2006	9
Tabel 2.2. Sifat Fisika dan Kimia K_2CO_3	10
Tabel 2.3. Syarat Mutu Biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015	13
Tabel 2.4. Syarat Mutu RBDPO berdasarkan SNI 01-0018-2006	17
Tabel 2.5. Sifat Fisika dan Kimia dari Metanol	18
Tabel 2.6. Tipe DES (<i>Deep Eutectic Solvent</i>)	20
Tabel 4.1. Massa Ekstrak pada Ekstraksi I dan Ekstraksi II	36
Tabel 4.2. Komposisi Kimia Abu TKKS Hasil Pembakaran, Abu TKKS Hasil Kalsinasi, Padatan K_2CO_3 , dan Abu Residu Menggunakan XRF (X-Ray Fluorescence)	38
Tabel 4.3. % K_2CO_3 dalam Abu TKKS Hasil Pembakaran, Abu TKKS Hasil Kalsinasi, Padatan K_2CO_3 , dan Abu Residu	38
Tabel 4.4. Hasil Analisis Biodiesel	44

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Hasil Penelitian	57
Lampiran 2. Perhitungan.....	61
Lampiran 3. Gambar Proses dan Hasil Penelitian	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan energi baru terbarukan. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Dirjen EBTKE) (2023) menyatakan bauran energi untuk Energi Baru Terbarukan (EBT) pada tahun 2023 sebesar 14,5% per November 2023 dengan target bauran sebesar 17,9%. Target tersebut meningkat dari tahun sebelumnya yaitu 12,3% pada tahun 2022 dan 12,16 pada tahun 2021. Meskipun demikian, capaian tersebut dinilai masih jauh untuk mencapai target yang ditetapkan yaitu minimal 23% pada 2025. Upaya untuk pengembangan energi terbarukan salah satunya melalui pemanfaatan bioenergi. Salah satu sumber bioenergi adalah biodiesel. Dharmawan et al. (2018) menyatakan pengembangan biodiesel sebagai bioenergi nasional diarahkan untuk mewujudkan transisi dari energi berbasis fosil kepada energi berbasis biomassa yang diharapkan lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif, terbarukan, dan sumber energi yang berkelanjutan untuk membantu pasokan atau bahkan menggantikan kebutuhan bahan bakar diesel yang tidak terbarukan dari minyak bumi. Dalam pemanfaatannya, biodiesel berkontribusi sekitar 35% dalam capaian energi baru terbarukan. Pada proses produksi, biodiesel dihasilkan melalui metode transesterifikasi, yang mengacu pada reaksi kimia yang dikatalisis dengan melibatkan asam lemak bebas dan alkohol untuk menghasilkan alkil ester (yaitu, biodiesel) dan gliserol, dimana menghasilkan biodiesel dengan jumlah yield yang tinggi serta sifatnya yang sebanding dengan solar (Veluru et al., 2022; Rachimoallah et al., 2009).

Pada produksi biodiesel, katalis dibutuhkan untuk mempercepat laju reaksi. Katalis dapat berupa bahan asam, basa, maupun enzim. Katalis basa umumnya digunakan karena waktu reaksi yang lebih cepat temperatur reaksi yang lebih rendah dibandingkan katalis asam. Namun, dalam penggunaannya, katalis basa juga dapat menimbulkan efek negatif dalam pembuatan biodiesel. Katalis basa seperti KOH dan NaOH berinteraksi dengan metanol menghasilkan air

sebagai produk samping. Adanya air dan FFA menyebabkan pembentukan penyabunan (saponifikasi) dengan hidrolisis trigliserida (Thangaraj et al., 2019). Reaksi saponifikasi menghambat proses pemisahan gliserol dari metil ester, meningkatkan viskositas dan pembentukan emulsi sehingga menyebabkan waktu pemisahan yang lebih lama. Hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan yield biodiesel dan konversi metil ester. Seperti pada penelitian Mandari et al. (2021), menunjukkan adanya pembentukan reaksi saponifikasi akibat peningkatan konsentrasi katalis dan temperatur katalis yang tinggi. Ditambah lagi, karena polaritasnya, emulsi larut ke dalam fase gliserol selama tahap pemisahan menyebabkan sabun terlarut meningkatkan kelarutan metil ester dalam gliserol. Hal ini menyebabkan penurunan kadar metil ester.

Dalam beberapa tahun terakhir, DES telah digunakan sebagai katalis aktif dalam peningkatan biomassa pada berbagai jenis reaksi (Kalhor dan Gandhi, 2021). DES adalah pelarut yang memiliki kemurnian tinggi dengan biaya rendah, tidak beracun, tidak reaktif dengan air dan *biodegradable*. Pemilihan DES sebagai katalis karena kemampuan aktivitas katalitik yang tinggi, stabilitas kimia dan termal yang sangat baik. Pengaruh kondisi reaksi lain termasuk jumlah katalis, waktu dan temperatur optimum juga mempunyai peran penting dalam *yield* biodiesel yang dihasilkan (Ishak et al., 2017). Zhang et al. (2012) menunjukkan reaktivitas gliserol yang lebih rendah ketika terlibat dalam pembentukan DES dan dapat meningkatkan laju reaksi. Pada reaksi transesterifikasi, penggunaan DES sebagai katalis dimanfaatkan dalam memproduksi biodiesel yang menunjukkan hasil *yield* yang tinggi (Maheshwari et al., 2022). Hasil ini memberikan prospek aplikasi yang luas untuk DES.

Pengembangan energi terbarukan melalui pemanfaatan biodiesel tidak hanya melalui bahan baku, tetapi dapat juga melalui pengolahan katalisnya. Katalis DES dapat diproduksi dengan memanfaatkan biomassa. Salah satu biomassa yang dapat digunakan adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). TKKS berasal dari industri kelapa sawit yang menghasilkan limbah padat berupa TKKS (21-23%), cangkang sawit (5,5-7%), dan serabut sawit (13,5-15%), serta limbah cair (55-59%) (Nyakuma et al., 2020). Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian (2022), produksi minyak sawit Indonesia mencapai 46,85

juta ton. Peningkatan produksi minyak sawit akan meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan jumlah limbah padat TKKS mencapai 10,78 juta ton. Pemanfaatan TKKS di industri masih belum *massive* dilakukan dengan hanya 10% limbah padat TKKS yang dimanfaatkan meliputi pembuatan briket untuk PLT Biomassa (Erivianto et al., 2016), *composting* (Santi et al., 2018), *biogas* (Sivasangar et al., 2015) dan pupuk konvensional yang dibiarkan membusuk di lokasi perkebunan (Januari et al., 2020). Limbah tersebut secara umum dijadikan sebagai bahan baku untuk produk aplikasi tanah. Dengan demikian penumpukan TKKS dapat menyebabkan munculnya hama, tingkat dekomposisi yang lambat, penurunan kualitas tanah, dan dampak lingkungan lainnya (Ling et al., 2022). Dengan memaksimalkan pemanfaatan TKKS sebagai material katalis DES, maka meningkatkan optimalisasi pengembangan Energi Baru Terbarukan.

Dalam penelitian, TKKS dimanfaatkan untuk mendapatkan kalium karbonat (K_2CO_3) sebagai material katalis DES-KG. Kandungan logam dalam TKKS dapat digunakan sebagai senyawa *acceptor* ikatan hidrogen dalam DES. Sibarani et al. (2007) menjelaskan abu TKKS memiliki komposisi 30-40% kalium sebagai K_2O , 7% P_2O_5 , 9% CaO , 3% MgO dan unsur logam lainnya. Kandungan logam alkali yang tinggi (kalium) digunakan pada penelitian ini untuk material katalis. Imaduddin et al. (2008) menyatakan bahwa pemanfaatan TKKS sebagai sumber katalis K_2CO_3 dengan kadar berkisar 17-24%. K_2CO_3 digunakan sebagai *acceptor* ikatan hidrogen dalam senyawa katalis DES-KG. Sedangkan gliserol digunakan sebagai donor ikatan hidrogen. Ketika K_2CO_3 dan gliserol bercampur, akan terbentuk interaksi ikatan hidrogen yang kuat sehingga mampu mengekstrak gliserol. Hal ini juga menyebabkan metanol berlebih dapat diekstrak dari lapisan biodiesel. (Milenia et al., 2021). Katalis DES-KG dibuat dengan mengkalsinasi abu TKKS dalam beberapa perlakuan dan dilanjutkan dengan proses ekstraksi dan sintesis katalis dengan gliserol. Komposisi kimia, khususnya kandungan kalium diselidiki menggunakan analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*). Kemudian, dalam pembuatan katalis DES-KG, rasio molar katalis (K_2CO_3 /gliserol) dilakukan dengan beberapa variasi serta jumlah katalis untuk menyelidiki kualitas biodiesel dan perbandingan dengan SNI biodiesel 7182:2015.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan dalam latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana kemampuan ekstraksi kalium dari limbah tandan kosong kelapa sawit.
- 2) Bagaimana kadar kalium dan kandungan K_2CO_3 dalam abu TKKS hasil pembakaran, abu TKKS hasil kalsinasi, padatan K_2CO_3 dari hasil ekstraksi, dan abu residu hasil ekstraksi.
- 3) Bagaimana karakteristik katalis berbasis K_2CO_3 dari tandan kosong kelapa sawit dan gliserol (Katalis DES-KG).
- 4) Bagaimana karakteristik biodiesel yang dihasilkan dengan katalis DES-KG berdasarkan SNI 7182:2015.

1.3. Tujuan Penelitian

Sesuai dengan uraian rumusan masalah yang diteliti, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

- 1) Mengevaluasi kemampuan ekstraksi kalium dari limbah tandan kosong kelapa sawit.
- 2) Menganalisis kadar kalium dan kandungan K_2CO_3 dalam abu TKKS, padatan K_2CO_3 dari hasil ekstraksi, dan abu residu hasil ekstraksi.
- 3) Mengevaluasi karakteristik katalis DES-KG dari tandan kosong kelapa sawit.
- 4) Mengevaluasi karakteristik biodiesel yang dihasilkan dengan perbandingan SNI 7182:2015.

1.4. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah

- 1) Metode ekstraksi dapat dilakukan untuk memperoleh kalium dalam limbah tandan kosong kelapa sawit (Sanjaya et al., 2017).
- 2) Jumlah terbesar kalium dalam abu TKKS adalah bentuk senyawa kalium karbonat (K_2CO_3) (Imaduddin et al., 2008).

- 3) Produksi biodiesel menggunakan katalis DES (K_2CO_3 /Gliserol) memiliki karakteristik atau sifat-sifat yang berada dalam kisaran standar biodiesel (Abdurahhman et al., 2023).

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, penelitian ini dilakukan dengan fokus pada:

- 1) Tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku yang dikeringkan dan dibakar pada $700^\circ C$ selama 5 jam dalam furnace.
- 2) Penelitian dilaksanakan dengan lima proses, yaitu pre-treatment TKKS, ekstraksi K_2CO_3 dari abu TKKS, sintesis katalis DES-KG, proses transesterifikasi, dan proses pemurnian biodiesel. Proses ekstraksi dilakukan pada $80^\circ C$ selama 90 menit. Sintesis katalis DES-KG pada $80^\circ C$ selama 3 jam dengan variasi rasio molar K_2CO_3 /Gliserol (1:3; 1:3,5; 1:4; 1:4,5; 1:5). Sintesis biodiesel pada $65^\circ C$ dan kecepatan pengadukan 450 rpm selama 4 jam dengan variasi jumlah katalis (4; 4,5; 5; 5,5; dan 6 % w/w).
- 3) Kadar kalium dalam abu TKKS awal, abu TKKS setelah pembakaran, padatan K_2CO_3 hasil ekstraksi, dan residu ekstraksi diselidiki menggunakan XRF. Kadar K_2CO_3 dalam abu TKKS hasil pembakaran, abu TKKS hasil kalsinasi padatan, K_2CO_3 hasil ekstraksi, dan residu ekstraksi ditentukan melalui analisa laboratorium (metode titrasi).

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi banyak pihak yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu

- 1) Memberikan referensi penelitian tentang pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai K_2CO_3 sebagai bahan baku pembuatan katalis DES-KG.
- 2) Memberikan referensi penelitian tentang pemanfaatan katalis DES-KG dalam produksi biodiesel.
- 3) Memberikan referensi variasi kondisi penelitian pembuatan katalis DES-KG dan karakteristik katalis DES-KG.

- 4) Melalui penelitian ini, akan menjadi acuan dalam penelitian dan analisis masalah sekaligus memberikan solusi yang dapat memberikan pemikiran yang berorientasi pada peningkatan dan pengembangan ilmu pengelolaan lingkungan, khususnya melalui pengelolaan biodiesel menggunakan katalis DES-KG untuk mendukung peningkatan sumber energi baru terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, S. et al. 2022. Selective Oxidation of Alcohols through Fe₃O₄@SiO₂/K₂CO₃-Glycerin Deep Eutectic Solvent as a Heterogeneous Catalytic System. *Chemistry Open*, 11(12): e202200172
- Abbott, A.P., Boothby, D., Capper, G., Davies, D.L., Rasheed, R.K. 2004. Deep Eutectic Solvents Formed between Choline Chloride and Carboxylic Acids: Versatile Alternatives to Ionic Liquids. *J. AM. CHEM. SOC.*, 126: 9142-9147
- Abdul, P. M., Md. Jahim, J., Harun, S., Markom, M., Hassan, O., Mohammad, A. W., & Asis, A. J. (2013). *Biohydrogen Production from Pentose-Rich Oil Palm Empty Fruit Bunch Molasses: A first trial*. International Journal of Hydrogen Energy, 38(35): 15693–15699
- Abdurrahman, A. 2018. Utilization of Potassium carbonate-based Deep Eutectic Solvents as Catalyst in Transesterification Reaction of Jatropha curcas Oil. Tesis. Zaria: Ahmadu Bello University
- Afifah, S. N. 2015. *Synthesis and Characterization of Deep Eutectic Solvents (DESs)*. Disertasi. Seri Iskandar: Universiti Teknologi PETRONAS
- Aji, A., Bahri, S. and Tantalia, T. 2018. Pengaruh Waktu Ekstraksi dan Konsentrasi HCl untuk Pembuatan Pektin dari Kulit Jeruk Bali (Citrus maxima). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 6(1): 33-44
- Alimova, I. 2016. *Production of Biodiesel through Esterification Catalysed by Ionic Liquids*. Thesis. Qafqaz University and Polytechnic Institute of Bragança
- Alptekin, E. and Canakci, M. 2008. Determination of The Density and The Viscosities of Biodiesel-Diesel Fuel Blends. *Renewable Energy*, 33(12): 2623–2630
- Aprobi. 2021. *Peran Program Mandatory Biodiesel Dalam Mendukung Percepatan Realisasi Program Energi terbarukan*. Indonesia Biofuels Producer Association
- Armand Product Company.tt. *Potassium Carbonate Handbook*. <https://www.armandproducts.com/>
- Ayoola A. A., Fayomi O. S. I., Adegbite O. A., Raji O. 2020. *Biodiesel Fuel Production Processes: A Short Review*. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 1107, 1-7
- Az Zahra, A. C., et al. 2021. *Novel Approach of Biodiesel Production Waste Utilization to Support Circular Economy in Biodiesel Industry*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1143(1): 012030
- Bacovsky D., Körbitz W., Mittelbach M., Wörgetter M. 2007. *Biodiesel Production: Technologies and European Providers*. IEA Task 39 Report T39-B6, 104 pp

- Badan Pusat Statistik. 31 Maret 2022. *Produksi Tanaman Perkebunan (Ribu Ton), 2019-2021*. Diakses pada 13 April 2022, dari <https://www.bps.go.id/indicator/54/132/1/produksi-tanaman-perkebunan.html>
- Buchori, L., Istadi, I., & Purwanto, P. (2016). *Advanced Chemical Reactor Technologies for Biodiesel Production from Vegetable Oils - A Review*. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 11(3): 406–430
- Chanioti, S., Liadakis, G., dan Tzia, C., 2014. Food Engineering Handbook: Solid-Liquid Extraction Chapter. Diakses tanggal 31 Jan 2023, S Routledge Handbooks Online.
- Dharmawan, A. H., Nuva, Sudaryanti, D. A., Prameswari, A. A., Amalia, R., & Dermawan, A. 2018. *Pengembangan Bioenergi di Indonesia: Peluang dan Tantangan Kebijakan Industri Biodiesel*. Working Paper 242. Bogor, Indonesia: CIFOR
- Degam, G. 2017. *Deep Eutectic Solvents Synthesis, Characterization and Applications in Pretreatment of Lignocellulosic Biomass*. Electronic Theses and Dissertations. 1156
- Dewan Energi Nasional Republik Indonesia. 2021. *Energy Outlook 2021 “Nasib Sektor Energi Di Tengah Ketidakpastian”*. Diakses pada 12 Januari 2022, dari <https://www.den.go.id/index.php/dinamispage/index/998-energy-outlook-2021-%E2%80%9Cnasib-sektor-energi-di-tengah-ketidakpastian%E2%80%9D.html>
- ElAchkar, T., Greige-Gerges, H., Fourmentin, S. 2021. Basics and Properties of Deep Eutectic Solvents: A Review. *Environ. Chem*, 19: 3397–3408
- Eriyanto, D., P. B. A., & Notosudjono, D. 2020. *Penggunaan Limbah Padat Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Tenaga Listrik Pada Existing Boiler*. Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi, 26(2): 85–93
- Fatimura M., Daryanti, Santi. 2016. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Bekas Rumah Makan dengan Variasi Penambahan Katalis Koh pada Proses Transesterifikasi. *Jurnal Redoks*, 1(2): 35-44
- Filly, A., Fabiano-Tixier, A. S., Louis, C., Fernandez, X., & Chemat, F. 2016. *Water as A Green Solvent Combined with Different Techniques for Extraction of Essential Oil from Lavender Flowers*. *Comptes Rendus Chimie*, 19(6): 707–717
- Gan, P. G., Sam, S. T., Abdullah, M. F., Firdaus Omar, M., & Tan, L. S. (2020). *Alkaline Deep Eutectic Treatment*. *BioResources*, 15(1): 1154–1170
- Gimeno X. M., 2019. *“Deep Eutectic Solvents: A la Carte Solvents for Cross-Coupling Reactions”*. Tesis. Alicante: University of Alicante
- Goggin, K. A., & Murphy, D. J. 2018. *Monitoring The Traceability, Safety, and Authenticity of Imported Palm Oils in Europe*. *OCL* 25(6): A603
- Hansen, B. B., et al. 2020. *Deep Eutectic Solvents: A Review of Fundamentals and Applications*. *Chemical Reviews*, 121(3): 1232–1285

- Haas, M.J., Scott, K.M., Marmer, W.N., Foglia, T.A. 2004. In Situ Alkaline Transesterification: An Effective Method for The Production of Fatty Acid Esters from Vegetable Oils. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 81(1): 83–89
- Hayyan, A. *et al.* 2014. Fruit sugar-based Deep Eutectic Solvents and Their Physical Properties. *Thermochimica Acta*, 541: 70–75
- Huei, W. K., Lim, S., Ling, P. Y., & Yi, Y. C. 2019. *Synthesis of Solid Catalyst from Palm Empty Fruit Bunch for Production of Biodiesel through Esterification*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 268(1)
- Imaduddin M., Yoeswono, Wijaya K., Tahir I. 2008. *Ekstraksi Kalium dari Abu Tandan Kosong Sawit sebagai Katalis pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit*. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 3(1-3): 14-20
- Ishak, Z. I., Sairi, N. A., Alias, Y., Aroua, M. K. T., Yusoff, R. 2017. *A Review of Ionic Liquids as Catalysts for Transesterification Reactions of Biodiesel and Glycerol Carbonate Production*. *Catalysis Reviews*, 59(1): 44–93
- Januari, A. D., Utomo, S. W., & Agustina, H. 2020. *Estimation and Potential of Palm Oil Empty Fruit Bunches based on Crude Palm Oil Forecasting in Indonesia*. *E3S Web of Conferences*, 211: 1–8
- Japir, A. A. W., Salimon, J., Derawi, D., Bahadi, M., & Yusop, M. R. 2016. *Purification of High Free Fatty Acid Crude Palm Oil Using Molecular Distillation*. *Asian Journal of Chemistry*, 28(11): 2549–2554
- Kalhor, P., & Ghandi, K. 2021. *Deep Eutectic Solvents as Catalysts for Upgrading Biomass*. *Catalysts*, 11(2): 1–32
- Kim, S., Park, J. M., Seo, J. W., & Kim, C. H. 2012. *Sequential Acid-/Alkali-Pretreatment of Empty Palm Fruit Bunch Fiber*. *Bioresource Technology*, 109: 229–233
- Lim, W.L. *et al.* 2019. Alkaline Deep Eutectic Solvent: A Novel Green Solvent for Lignocellulose Pulping. *Cellulose*, 26(6): 4085–4098
- Ling, J. H., Lim, Y. T., Leong, W. K., & Sia, H. T. 2022. *The Advantages and Disadvantages of Palm Oil Empty Fruit Bunch on Bricks and Mortar*. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 8: 193–204
- Liu, W., Wang, F. 2018. *p-Toluenesulfonic Acid-based Deep Eutectic Solvent as Transesterification Catalyst for Biodiesel Production*. *Journal of Oleo Science*, 67(9): 1163–1169
- Madhiyanon, T. *et al.* 2013. Ash And Deposit Characteristics from Oil-Palm Empty-Fruit-Bunch (EFB) Firing with Kaolin Additive in A Pilot-Scale Grate-Fired Combustor. *Fuel Processing Technology*, 115: 182–191
- Mahkota Group. 14 September 2020. *Prospek Menjanjikan, Mahkota Group (MGRO) Kejar Produksi Sekitar 110.000 Ton RBDPO*. Diakses pada 10 Maret 2022, dari <https://www.mahkotagroup.com/news/prospek-menjanjikan-mahkota-group-mgro-kejar-produksi-sekitar-110-000-ton-rbdpo>

- Mahmud, S. F. (2019). *Proses Pengolahan CPO (Crude Palm Oil) menjadi RBDPO (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil) di PT XYZ Dumai*. Jurnal Unitek, 12(1): 55–64
- Malins, K. 2018. The potential of K_3PO_4 , K_2CO_3 , Na_3PO_4 and Na_2CO_3 as Reusable Alkaline Catalysts for Practical Application in Biodiesel Production. *Fuel Processing Technology*, 179(June): 302–312
- Mandari, V., & Devarai, S. K. 2021. *Biodiesel Production Using Homogeneous, Heterogeneous, and Enzyme Catalysts via Transesterification and Esterification Reactions: A Critical Review*. Bioenergy Research, 0123456789
- Manurung R., Arief A., Hutauruk G. R., 2018. *Purification of Red Palm Biodiesel by Using K_2CO_3 Based Deep Eutectic Solvent (DES) with Glycerol as Hydrogen Bond Donor (HBD)*. AIP Conference Proceedings 1977, 020010: 1-8
- Manurung, R., & Siregar, A. G. 2020. *Reusability of the Deep Eutectic Solvent - Novozym 435[®] Enzymes System in Transesterification from Degumming Palm Oil*. Advanced Engineering Forum, 35: 9–17
- Mba, O. I., Dumont, M. J., & Ngadi, M. 2015. *Palm Oil: Processing, Characterization and Utilization in The Food Industry - A Review*. Food Bioscience, 10: 26–41
- Milenia A., Putri R. A., Syarif A., Effendy S., Rusnadi I., 2021. *Purifikasi Biodiesel Menggunakan Deep Eutectic Solvent Berbasis Choline Chloride dan Ethylene Glycol*. Distilasi, 6(2): 7-12
- Murphy, D. J., Goggin, K., & Paterson, R. R. M. 2021. *Oil Palm in The 2020s and Beyond: Challenges and Solutions*. CABI Agriculture and Bioscience, 2(1): 1–22
- Naser J., Jibril M. B., Al-Hatmi S., Gano Z., 2013. *Potassium Carbonate as a Salt for Deep Eutectic Solvents*. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 4(3): 114-118
- Niguez D. R., 2019. *“Deep Eutectic Solvents: Platform for Asymmetric Catalysis”*. Tesis. Alicante: University of Alicante
- Ningsih, L. M., Haryanto, A., Hasanudin, U., & Triyono, S. 2021. *Leaching of Potassium from Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Using Tapioca Wastewater*. Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019), 202(Icsb 2019): 281–286
- Nyakuma, B. B., Wong, S. L., Oladokun, O., Bello, A. A., Hambali, H. U., Abdullah, T. A. T., & Wong, K. Y. 2020. *Review of The Fuel Properties, Characterisation Techniques, and Pre-Treatment Technologies for Oil Palm Empty Fruit Bunches*. Biomass Conversion and Biorefinery
- Okoye, P.U. *et al.* 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*, 179:192–200

- Patel, K., Panchal, N., Ingle, P. 2019. Extraction Methods: Microwave, Ultrasonic, Pressurized Fluid, Soxhlet Extraction, Etc. *International Journal of Advanced Research in Chemical Science (IJARCS)*, 6(3): 6-21
- Prismantoko, A., Heryana, Y., Peryoga, Y., & Wijono, A. 2017. Sawit Dengan Pencucian Metoda Aliran Air. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, (November): 1–5
- Rahmalia, W., Shofiyani, A., Dewi, Y.S.K., Septiani, S. 2022. Simple Green Routes for Metal-Bixin Complexes Synthesis Using Glycerol-Based Deep Eutectic Solvent. *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(6): 1759–1767
- Rahman, H., Sitompul, J. P., & Tjokrodiningrat, S. 2022. *The Composition of Fatty Acids in Several Vegetable Oils from Indonesia*, 23(4): 2167–2176.
- Rana, B.S., Cho, D.W., Cho, K., Kim, J.N. 2018. Total Acid Number (TAN) Reduction of High Acidic Crude Oil by Catalytic Esterification of Naphthenic Acids in Fixed-Bed Continuous Flow Reactor. *Fuel*, 231(September 2017): 271–280
- Rasool, M.H. *et al.* 2022. Rheological Characterization of Potassium Carbonate Deep Eutectic Solvent (DES) based Drilling Mud. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 12(7): 1785–1795
- Samat, N.A.S.A, Jaman, U.Z.K., Saree, S., Mahmud, D.S.A., Lai, J.C.H. Characteristics of Calcined Palm Oil Pastes for Biosilica Extraction as A Function of Calcination Temperatures. *Journal of Applied Research and Technology*, 19, 23-34
- Sanjaya A. S., Prajaka J. A., Aini, N., Soerawidjaja T. H. 2017. Penentuan Kadar Kalium dalam Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit Daerah Tepian Langsung Kutai Timur dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(4): 07-12.
- Santi, L. P., & Kalbuadi, Donny Nugroho Geonadi, D. H. 2018. *Empty Fruit Bunches as A Potential Source for*. Pemanfaatan Biodiversitas Tropika untuk Mewujudkan Bio-Based Economy, July, 6
- Sangha, M. K., P. K. Gupta, V. K. Thapar, Verma. 2005. Storage Studies on Plants Oil and Their Methyls Esters. College of Agricultural Engineering, Punjab Agricultural University, India
- Septiawan, H., Hariyadi, Thohari, M. 2014. Analysis of Environmental Management Palm Oil Mill Batu Ampar – PT SMART Tbk in the Implementation of Indonesian Sustainable Palm Oil. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 4(2): 136–144
- Shahbaz, K., Mjalli, F.S. and Alnashef, I. 2014. The Use of Artificial Neural Networks (ANNS) to Simulate Catalyst Removal from Biodiesel Using Ammonium and Phosphonium Based Deep Eutectic Solvents. *SOMChE & RSCE*, 1(October): 1–14
- Sibarani, J., Khairil, S., Yoeswono, Wijaya, K., & Tahir, I. 2010. *Pengaruh Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit Pada Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel*. *Indonesian Journal of Chemistry*, 7(3): 314–319.

- Sidohoude, A., Pascal Agbangnan Dossa, C., Nonviho, G., Papin Montcho, S., & Codjo Koko Sohounhloue, D. 2018. *Transesterification Reaction and Comparative Study of the Fuel Properties of Biodiesels Produced from Vegetable Oils: A Review*. *Chemistry Journal*, 4(4): 79–90
- Singh M. B., Kumar V. S., Chaudhary M., Singh P. 2021. *A Mini Review on Synthesis, Properties and Applications of Deep Eutectic Solvents*. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98: 100210-100224
- Silalahi, N.R. 2021. Karakteristik NADES (*Natural Deep Eutectic Solvent*). *JOM FTEKNIK*, 8(2)
- Sivasangar, S., Zainal, Z., Salmiaton, A., & Taufiq-Yap, Y. H. 2015. Supercritical Water Gasification of Empty Fruit Bunches from Oil Palm for Hydrogen Production. *Fuel*, 143 (December): 563–569
- Smith E. L., Abbott A. P., Ryder K. S., 2014s. *Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications*. *Chemical Reviews*, 114: 11060–11082
- Statista Research Department. 1 Desember 2021. Diakses pada 16 April 2022, dari <https://www.statista.com/statistics/1094758/indonesia-provinces-with-largest-area-oil-palm-plantations/#:~:text=In%202020%2C%20the%20largest%20planted,to%20ecological%20and%20social%20issues>
- Thangaraj, B., Solomon, P. R., Muniyandi, B., Ranganathan, S., & Lin, L. 2019. *Catalysis in Biodiesel Production - A Review*. *Clean Energy*, 3(1): 2–23
- Thangarasu, V., & Anand, R. 2019. *Comparative Evaluation of Corrosion Behavior of Aegle Marmelos Correa Diesel, Biodiesel, and Their Blends on Aluminum and Mild Steel Metals*. In *Advanced Biofuels: Applications, Technologies and Environmental Sustainability*. Elsevier Ltd
- Udoetok, I. A. (2012). Characterization of ash made from oil palm empty fruit bunches (OEFB). *International Journal of Environmental Science*, 3(1): 353–362
- Ünlü A. E., Arikaya A., Takaç S., 2019. *Usejab of deep eutectic solvents as catalyst: A mini-review*. *Green Process Synth*, 8: 355–372
- Zhang Q., Royer S., Vigier K. D. O., Jerome F., 2012. *Deep Eutectic Solvents: Syntheses, Properties and Applications*. *Chem. Soc. Rev.*, 41: 7108–7146
- Verma, P., & Sharma, M. P. 2016. *Comparative Analysis of Effect of Methanol and Ethanol on Karanja Biodiesel Production and Its Optimisation*. *Fuel*, 180: 164–174
- Williamson, S. T., Shahbaz, K., Mjalli, F. S., AlNashef, I. M., & Farid, M. M. 2017. *Application of Deep Eutectic Solvents as Catalysts for The Esterification of Oleic Acid with Glycerol*. *Renewable Energy*, 114: 480–488
- Xie, W.Q., Gong, Y.X. and Yu, K.X. 2017. A Rapid Method for The Quantitative Analysis of Total Acid Number in Biodiesel based on Headspace GC Technique. *Fuel*, 210(June): 236–240