

Periode : Semester Ganjil 2024/2025
Tahun : 2024
Skema Penelitian : Mandiri
Tema RIP Penelitian : Energi dan Lingkungan

**LAPORAN AKHIR
PROGRAM PENELITIAN**

**Current Scenario and Potential of Waste Cooking Oil as a
Feedstock for Biodiesel Production: Life Cycle Sustainability
Assessment (LCSA) Review**



TIM PENGUSUL:

Ketua Tim : Dr. Arif Rahman, S.Si., M.T NUPTK: 4435774675130232

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ESA UNGGUL
TAHUN 2025**

**Lembar Pengesahan Laporan Akhir
Program Penelitian
Universitas Esa Unggul**

1. Judul Kegiatan Penelitian : CURRENT SCENARIO AND POTENTIAL OF WASTE COOKING OIL AS A FEEDSTOCK FOR BIODIESEL PRODUCTION: LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT (LCSA) REVIEW
2. Nama Mitra Sasaran : BRIN
3. Ketua Tim
- a. Nama Lengkap : Dr. ARIF RAHMAN, S.Si., M.T.
- b. NIDN : -
- c. Jabatan Fungsional : Tenaga Pengajar
- d. Fakultas/ Program Studi : Fakultas Teknik/ FT/Program Studi Teknik Mesin
- e. Bidang Keahlian : TEKNIK MESIN (DAN ILMU PERMESINAN LAIN)
- f. Nomor Telepon/ HP : 081225797987
- g. Email : arif.rahman@esaunggul.ac.id
4. Jumlah Anggota Dosen : -
5. Jumlah Anggota Mahasiswa : -
6. Lokasi Kegiatan Mitra
- Alamat Jakarta
- Kabupaten/ Kota KOTA ADM. JAKARTA PUSAT
- Provinsi DKI JAKARTA
7. Periode/ Waktu Kegiatan : 3 Juni 2024 s/d 31 Desember 2024
8. Luaran yang Dihasilkan : Jurnal Internasional Bereputasi dan Berfaktor Dampak (Q1)
9. Usulan/ Realisasi Anggaran
- a. Dana Mandiri : 10.723.625
- b. Sumber Dana Lain (1) : 10.723.625

Jakarta, 12 Februari 2025

Ketua Peneliti,



(Dr. ARIF RAHMAN, S.Si., M.T.)

NIDN/K. -

Menyetujui,
Dekan Fakultas Teknik



Mengetahui,
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian
Masyarakat Universitas Esa Unggul

(Ir. ROESFIANSJAH RASJIDIN, MT, Ph.D.)

NIP/NIK. 201050167

(LARAS SITOAYU, S.Gz, M.K.M)

NIK. 215080596

IDENTITAS DAN URAIAN UMUM

- Judul Penelitian** : Current Scenario And Potential Of Waste Cooking Oil As A Feedstock For Biodiesel Production: Life Cycle Sustainability Assessment (Lcsa) Review
- Tim Penelitian**

No	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Instansi Asal	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1	Dr. Arif Rahman, S.Si., M.T	Ketua	Teknik Mesin	Universitas Esa Unggul	20

- Objek Penelitian** : Review paper terkait potensi minyak jelantah untuk pengembangan industry biodiesel di Indonesia
- Masa Pelaksanaan**
Mulai : Bulan Juni Tahun 2024
Berakhir : Bulan Desember Tahun 2024
- Usulan Biaya** : Rp. 10.723.625
- Lokasi Penelitian** : Jakarta
- Instansi lain yang terlibat** : Badan Riset Inovasi Nasional
- Temuan yang ditargetkan** : Mengetahui analisis keberlanjutan yang holistik terhadap produksi minyak jelantah berbasis biodiesel, khususnya kajian LCSA yang meliputi LCA, LCCA, dan SLCA; Mengetahui tantangan, pengembangan, rekomendasi, dan potensi industry biodiesel berbasis minyak jelantah di Indonesia; Mengetahui konsep keberlanjutan terhadap produksi biodiesel berbasis minyak jelantah sebagai guideline dimasa yang akan datang
- Kontribusi mendasar pada suatu bidang ilmu**
Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan informasi secara komprehensif kepada otoritas pemerintah, analis energi, peneliti-peneliti, pihak swasta dan investor mengenai peluang dan prospek industry biodisel dari WCO yang berkelanjutan di Indoensia yang dapat mendukung bahan bakar yang lebih bersih dan rendah karbon.

10. Jurnal Ilmiah yang menjadi sasaran : Case Studies in Chemical Environmental Engineering (Jurnal Q1 | HI 35| SJR 1.28)

Tahun: Vol 11 (2025) 101067

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101067>

11. Rencana luaran HKI : Rencana luaran dalam bentuk laporan akhir kegiatan.

DAFTAR TIM PELAKSANA DAN TUGAS

1. Ketua Pelaksana

Nama : Dr. Arif Rahman, S.Si., M.T
NIDN/NUPTK : 4435774675130232
Jabatan Fungsional : -
Fakultas/Prodi : Fakultas Teknik/ Teknik Mesin
Tugas : Penulisan Proposal, review paper, pengumpulan data, mengolah dan analisis data, penulisan paper, peroses publikasi, dan penulisan laporan perkembangan dan laporan akhir.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permintaan dan kebutuhan energi terus meningkat karena dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah penduduk yang cukup tinggi, pertumbuhan industrialisasi yang pesat, dan pembangunan metropolitan di seluruh penjuru dunia. Cadangan batu bara, minyak bumi, dan gas alam yang merupakan energi yang tidak terbarukan dan berkelanjutan yang dijadikan sebagai sumber energi utama yang semakin hari semakin berkurang karena dilakukan eksploitasi secara besar-besaran (Osman et al., 2021). Konsumsi bahan bakar fosil yang tidak terkendali menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca dan akumulasi karbon secara massif di atmosfer yang menyebabkan peningkatan suhu dan perubahan iklim global (Goh et al., 2020). Baru-baru ini, harga minyak bumi mencapai rekor tertinggi seiring dengan kelangkaan pasokan di pasar yang disebabkan oleh ketergantungan yang tinggi dari bidang industry, transportasi dan pembangkit listrik sebagai bahan bakar utamanya. Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu solusi yang bisa mengatasinya dengan mengembangkan dan memanfaatkan sumber-sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Salah satu energi alternatif, yaitu biodisel yang dihasilkan dari berbagai jenis bahan-bahan organik (biomassa) seperti sisa makanan, limbah perkotaan, dan limbah pertanian. Hal tersebut bisa dijadikan sebagai solusi alternatif untuk mengatasi tantangan ekonomi, penipisan lapisan ozon, dan polusi yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil secara global.

Limbah perkotaan terdiri dari limbah rumah tangga, limbah perhotelan, limbah restaurant, limbah kafe, dan limbah dari usaha mikro kecil dan menengah. Salah satu limbah yang sangat potensial sebagai bahan baku biodisel, yaitu minyak jelantah/waste cookong oil (WCO). WCO merupakan biofuel generasi kedua yang berasal dari sisa minyak yang diperoleh setelah dimasak yang mengandung akumulasi asam lemak bebas yang bisa dijadikan sebagai bahan baku yang potensial secara teknis untuk konversi ke biofuel (Goh et al., 2020). Memanfaatkan WCO menjadi biodisel merupakan alternatif solusi yang dapat memperkuat ketahanan energi, menjaga keamanan pangan, memajukan ekonomi sirkular, meminimalkan dampak buruk limbah dan pencemaran lingkungan (Zhao et al., 2021). Indonesia merupakan negara yang paling tinggi mengkonsumsi minyak goreng sawit, kemudian India, China, Uni

Eropa, Malaysia, Pakistan, Thailand, USA, Nigeria, dan Bangladesh. Indonesia memiliki potensi WCO yang sangat tinggi. Berdasarkan data Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, konsumsi minyak goreng sawit dalam lima tahun terakhir terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2018, konsumsi minyak sawit secara nasional mencapai 13.4 juta ton, tahun 2019 16.7 juta ton, tahun 2020 17.3 juta ton, tahun 2021 18.4 juta ton, dan 2022 sebesar 20.9 juta ton. Secara rata-rata, pada periode 2018-2022 konsumsi minyak sawit secara nasional meningkat sebesar 12.04 %. Dari data tersebut, rata-rata minyak jelantah yang dihasilkan sekitar 40-60%, yaitu 8.36—12.54 juta ton pada tahun 2022 (BPS, 2023). Namun demikian, Indonesia baru mampu mengumpulkan minyak jelantah sekitar 18.5% atau mencapai 1.54—2.31 juta ton saja (TNP2K, 2020). Dengan potensi minyak jelantah yang cukup tinggi setiap tahunnya, maka manajemen pengumpulan WCO, proses produksi ke biodisel, dan proses distribusi biodisel harus disiapkan dengan serius oleh pemerintah supaya dapat memenuhi konsep berkelanjutan dan circular ekonomi. Namun demikian, penelitian terkait kajian berkelanjutan terhadap produksi biodisel dari WCO belum banyak dilakukan oleh para peneliti. Apalagi kajian berkelanjutan yang melibatkan aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial belum pernah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Penelitian ini mengusulkan kerangka kerja berdasarkan life cycle sustainability assessment (LCSA) yang mampu mengevaluasi dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi dari proses produksi biodisel dari bahan baku WCO. LCSA merupakan hasil kombinasi dari 3 proses utama, yaitu life cycle assessment (LCA) yang merepresentasikan dimensi lingkungan, sosial life cycle assessment (S-LCA) yang merepresentasikan dimensi sosial, dan life cycle cost analysis (LCCA) yang menggambarkan dimensi ekonomi.

Berdasarkan literature review yang dilakukan menunjukkan bahwa publikasi yang berkaitan dengan LCSA tentang produksi biodisel dari bahan baku WCO masih sangat minim bahkan belum ada. Oleh karena itu, kontribusi utama dalam penelitian ini, yaitu (a) melakukan kajian lingkungan, ekonomi, dan sosial secara komprehensif menggunakan metode LCSA dari proses produksi biodisel dari bahan baku WCO, (b) menjelaskan tantangan, pengembangan, rekomendasi, dan potensi industry biodiesel berbasis minyak jelantah di Indonesia, (c) Menentukan konsep keberlanjutan terhadap produksi biodiesel berbasis minyak jelantah sebagai guideline dimasa yang

akan datang. Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan informasi secara komprehensif kepada otoritas pemerintah, analis energi, peneliti-peneliti, pihak swasta dan investor mengenai peluang dan prospek industry biodiesel dari WCO yang berkelanjutan di Indoensia yang dapat mendukung bahan bakar yang lebih bersih dan rendah karbon.

1.2. Permasalahan

Berdasarkan latar belakang seperti yang sudah diuraikan, ada beberapa masalah penting yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a. Bagaimana analisis keberlanjutan yang holistik terhadap produksi minyak jelantah berbasis biodiesel, khususnya kajian LCSA yang meliputi LCA, LCCA, dan SLCA.
- b. Bagaimana tantangan, pengembangan, rekomendasi, dan potensi industry biodiesel berbasis minyak jelantah di Indonesia.
- c. Bagaimana konsep keberlanjutan terhadap produksi biodiesel berbasis minyak jelantah sebagai guideline dimasa yang akan datang.

1.3. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

- a. Mengetahui analisis keberlanjutan yang holistik terhadap produksi minyak jelantah berbasis biodiesel, khususnya kajian LCSA yang meliputi LCA, LCCA, dan SLCA
- b. Mengetahui tantangan, pengembangan, rekomendasi, dan potensi industry biodiesel berbasis minyak jelantah di Indonesia
- c. Mengetahui konsep keberlanjutan terhadap produksi biodiesel berbasis minyak jelantah sebagai guideline dimasa yang akan datang

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

- a. Diharapkan mampu menghasilkan analisis keberlanjutan yang holistik terhadap produksi minyak jelantah berbasis biodiesel, khususnya kajian LCSA yang meliputi LCA, LCCA, dan SLCA

- b. Diharapkan mampu mengetahui dan menghasilkan Solusi terhadap tantangan, pengembangan, rekomendasi, dan potensi industry biodiesel berbasis minyak jelantah di Indonesia
- c. Diharapkan mampu menghasilakan konsep keberlanjutan terhadap produksi biodiesel berbasis minyak jelantah sebagai guideline dimasa yang akan datang

1.5. Hasil yang diharapkan

Hasil yang diharapkan adalah luaran penelitian dalam bentuk publikasi internasional (Jurnal Q1).

No	Jenis Luaran				Indikator Capaian		
	Kategori	Sub Kategori	Wajib	Tambahan	TS ¹⁾	TS+1	TS+2
1	Artikel ilmiah dimuat di jurnal ²⁾	Internasional	√		√		
		Nasional terakreditasi					
		Nasional tidak terakreditasi					
2	Artikel ilmiah dimuat di prosiding ³⁾	Internasional					
		Nasional					
3	<i>Invited speaker</i> dalam temu ilmiah ⁴⁾	Internasional					
		Nasional					
4	Hak Kekayaan Intelektual (HKI) ⁶⁾	Paten					
		Paten sederhana					
		Hak cipta					
		Merek dagang					
		Rahasia dagang					
		Desain produk industry					
		Indikasi geografis					
		Perlindungan varietas tanaman					
		Perlindungan topografi sirkuit terpadu					
5	Tehnologi tepat guna ⁷⁾						
6	Model/Purwarupa/Desain/ Karya seni/ Rekayasa sosial ⁸⁾						
7	Buku ajar (ISBN)						
8	Tingkat kesiapan teknologi (TKT) ¹⁰⁾						

BAB II

RENSTRA DAN PETA JALAN PENELITIAN PERGURUAN TINGGI

2.1. Rencana Strategis Peta Jalan Penelitian Perguruan Tinggi

Rencana Strategi (renstra) Penelitian Universitas Esa Unggul (UEU) merupakan dokumen penyusunan Rencana Induk Penelitian (RIP). Rencana Induk Penelitian (RIP) UEU merupakan dokumen perencanaan penelitian yang memberikan arah prioritas pengembangan iptek untuk jangka waktu 5 tahun (2022-2026). RIP UEU berupaya menghasilkan penelitian yang berkualitas dan sustainable, diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap bangsa dan negara. Komitmen dan RIP tercantum dalam Visi UEU, yaitu menjadi perguruan tinggi kelas dunia berbasis intelektualitas, kreativitas, dan kewirausahaan, yang unggul dalam mutu pengelolaan dan hasil pelaksanaan Tridarma Perguruan Tinggi.

Prioritas riset disusun dengan mempertimbangkan berbagai dokumen, yaitu dokumen sistem perencanaan nasional, khususnya Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2005-2025, Rencana Induk Riset Nasional (RIRN), Prioritas Riset Nasional (PRN) 2020-2024, serta dokumen Sustainable Development Goals (SDGs) yang ditetapkan dalam United Nations Sustainable Development Summit untuk menghapuskan kemiskinan, melawan ketidaksetaraan dan ketidakadilan, serta untuk mengatasi perubahan iklim. Penyelenggaraan riset di UEU meliputi 9 bidang riset prioritas sesuai dengan yang diamanatkan pada PRN, yaitu:

- ✓ Pangan
- ✓ Energi
- ✓ Kesehatan
- ✓ Transportasi
- ✓ Rekayasa Keteknikan
- ✓ Pertahanan dan Keamanan
- ✓ Kemaritiman
- ✓ Sosial Humaniora – Pendidikan – Seni dan Budaya
- ✓ Multidisiplin dan Lintas Sektoral.

Penelitian dengan judul “Current Scenario and Potential of Waste Cooking Oil as a Feedstock for Biodiesel Production: Life Cycle Sustainability Assessment

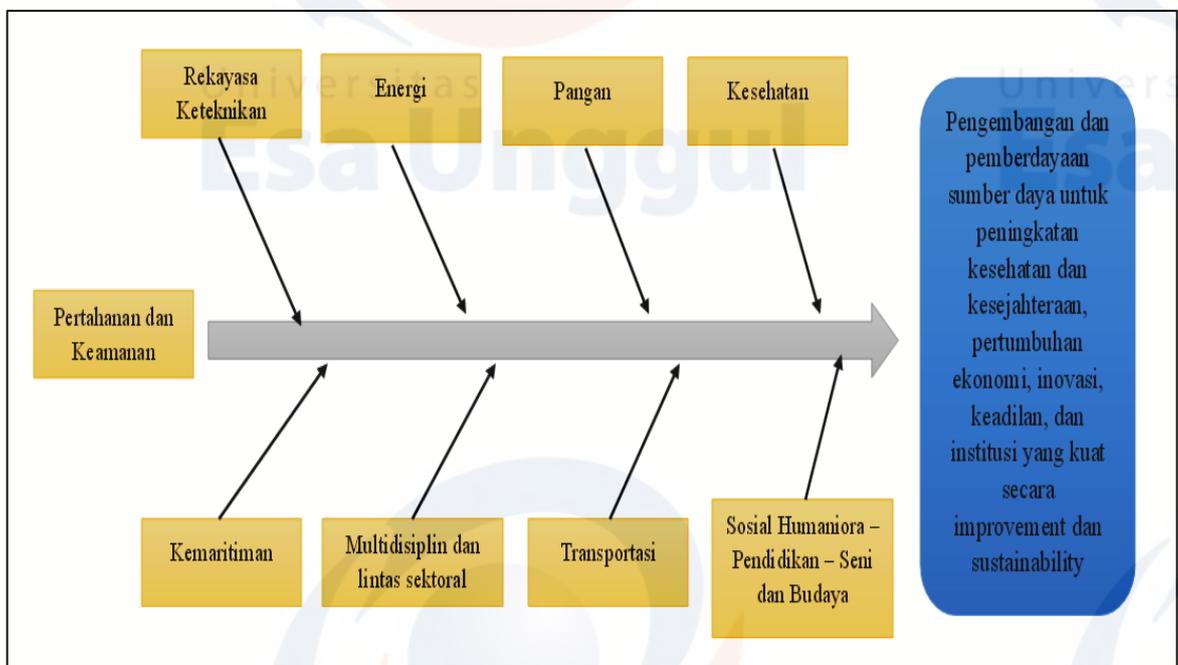
(LCSA) Review” ini relevan dengan tema penelitian poin 2, yaitu bidang energi dan poin 9, yaitu multidisiplin dan lintas sektoral. Selain itu, penelitian ini juga sesuai dengan tujuan SDGs, yaitu poin 7 tentang energi bersih dan terjangkau, dan poin 13 tentang penanganan perubahan iklim.

2.2. Roadmap Penelitian Universitas Esa Unggul

Peta jalan penelitian yang akan dilakukan sangat memperhatikan karakteristik riset dari hulu ke hilir melalui riset dasar hingga percepatan difusi dan pemanfaatan imptek sesuai dengan tingkat kesiapan teknologi. Oleh karena itu, Universitas Esa Unggul mengelompokkan penelitian mejadi tiga kategori, yaitu:

- ✓ Riset dasar (TKT: 1-3)
- ✓ Riset terapan (TKT: 4-6)
- ✓ Riset unggulan dan pengembangan (difusi dan pemanfaatan IPTEK) (TKT: 7-9)

Dengan pengelompokkan ini diharapkan bidang keunggulan UEU dapat terlihat dengan jelas serta hasil-hasil penelitian yang diperoleh dapat maksimal seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Fishbone Bidang Riset UEU

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

3.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian dan publikasi yang berkaitan dengan LCSA tentang produksi biodisel dari bahan baku WCO masih sangat minim bahkan belum ada yang komprehensif. Adapun penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, antara lain Elisabet Vinyes, et al. pada tahun 2013 melakukan penelitian tentang aplikasi LCSA terhadap manajemen pengumpulan WCO. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan 3 sistem pengumpulan WCO yang berkelanjutan, yaitu pengumpulan melalui sekolah, door to door ke rumah masyarakat, dan pusat pengumpulan masyarakat, untuk menjelaskan sistem mana yang akan dipromosikan untuk pengumpulan WCO di kota-kota yang berada di Mediterranean countries (Vinyes et al., 2013). Haris Mahmood Khan, et al., pada tahun 2019 melakukan penelitian terkait current scenario dan potensi produksi biodiesel dari WCO di Pakistan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran secara umum tentang sumber daya dan kebutuhan energi di Pakistan, terutama bahan bakar alternatif yang dapat diterima dan berkelanjutan sebagai pengganti bahan bakar disel dari minyak bumi. WCO dianggap sebagai bahan baku untuk memproduksi biodiesel yang paling kompatibel dan layak secara ekonomi (Khan et al., 2019). Zheng Lit Chung, et al., (2019) melakukan kajian LCA terhadap produksi biodiesel dari WCO menggunakan katalis limbah cangkang telur ayam dengan metode transterifikasi. Pemanfaatan limbah cangkang telur ayam untuk memproduksi katalis dapat membantu mengurangi pembuangan limbah kulit telur ayam yang merupakan limbah pertanian berbahaya menurut peraturan European Union (EU) (Chung et al., 2019).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Digambar Singh, et al., (2021) yang melakukan penelitian tentang review yang komprehensif dari produksi biodiesel yang berasal dari bahan baku WCO. Biodiesel yang dihasilkan dari WCO merupakan bahan bakar alternatif yang lebih bersih dan ekonomis untuk mesin pengapian kompresi (Singh et al., 2021). Na yang, et al., (2022) melakukan a comparative review terkait analisis lingkungan dan ekonomi dari manajemen sistem pembuangan limbah makanan rumah tangga. Penelitian ini membandingkan 3 metodologi utama kajian lingkungan dan ekonomi, yaitu societal life cycle costing (societal LCC),

environmental cost effectiveness (ECE) analysis, dan multicriteria analysis (MCA) baik definisi, kerangka metodologi, dan kelebihan/kekurangannya (Yang et al., 2022). Laura C. Casas, et al., (2023) melakukan penelitian tentang kajian berkelanjutan dari skema volarisasi WCO dengan studi kasus di Bogota, Colombia. Volarisasi WCO menunjukkan kinerja keseluruhan yang lebih baik sehubungan dengan sistem referensi dalam hal kesehatan, keselamatan, aspek lingkungan, dan sosial. Seluruh dampak berkurang sebesar 30-50% berdasarkan skenario produksi lokal dan konsumsi biodiesel (Casas et al., 2023). Sri Hartini, et al., (2023) melakukan penelitian terkait desain sirkular ekonomi terhadap sampah kota WCO di Semarang-Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi perilaku masyarakat terhadap WCO, kesiapan masyarakat untuk mengumpulkan WCO dan merancang metode pengumpulan WCO yang optimal di Kota Semarang. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi jumlah WCO yang dibuang secara langsung ke lingkungan, sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan (Hartini et al., 2023).

Claudia Alanis et al., (2022) melakukan penelitian terkait strategi untuk meningkatkan heterogeneous catalysed yang berkelanjutan untuk memproduksi biodiesel dari WCO. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui strategi penilaian untuk mengurangi dampak lingkungan produksi biodiesel dari WCO menggunakan katalis heterogeneous bifunctional (campuran dari iron dan CaO). Hasil dari penelitian ini menunjukkan kontribusi global warming potential (GWP) sebesar 34.69%, photo-oxidation (PO) 41.90%, dan eutrophication (E) 34.71% (Alanis et al., 2022). Marina Corral et al., (2022) melakukan penelitian terkait analisis LCA multi-objective optimization untuk memproduksi biodiesel yang ecoefficient dari bahan baku WCO. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses optimasi produksi biodiesel dari WCO dengan menggunakan metode multi-response surface dan analisis LCA. Hasil penelitian menunjukkan skenario 4 menghasilkan dampak lingkungan paling rendah dengan nilai efisiensi sebesar 0.914 dan nilai kalor biodieselnnya tinggi 42.46 MJ/kg (Corral-Bobadilla et al., 2022). Homa Hoseinzadeh-Bandbafha et al., (2022) mempublish paper systematic review tentang LCA terhadap produksi biodiesel dari WCO. Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui literatur yang ada tentang analisis LCA produksi biodiesel dari WCO untuk menjelaskan the state-of-the-art dari aplikasi metode LCA, mengidentifikasi research gaps, dan memperkenalkan

peluang penelitian di masa depan (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2022). Fabiana Frota et al., (2022) melakukan penelitian terkait analisis LCA terhadap 4 metode valorisasi dari WCO. Tujuan dari penelitian ini, yaitu melakukan investigasi potensial dampak lingkungan dan konsumsi energi primer dari 3 jalur valorisasi WCO, antara lain untuk memproduksi biodiesel, direct burning fuel, dan sebagai zat aditif untuk mendaur ulang aspal yang sudah tua yang merupakan inovasi baru yang dapat merubah fasa material, dibandingkan dengan alternatif spesifik yang lebih umum berdasarkan pendekatan cradle to gate. Penelitian ini juga dapat mengidentifikasi dan merekomendasikan alternatif yang paling menguntungkan terhadap dampak lingkungan yang paling rendah. Penelitian ini menunjukkan hasil bahwa valorisasi WCO yang memiliki dampak lingkungan terendah, yaitu direct burning fuel (de Albuquerque Landi et al., 2022).

Gurunathan Manikandan et al., pada tahun 2023 mempublish paper review tentang WCO sebagai bahan baku biofuel berdasarkan perspektif India. Tujuan dari paper ini, yaitu menganalisis strategi pengumpulan WCO dari berbagai negara, analisis SWOT (strength, weakness, opportunity, and challenges), dan metode konversi yang paling tepat dan cocok untuk diaplikasikan. Penelitian ini memfokuskan analisis LCA untuk mengetahui dampak dari produksi biodiesel dari bahan baku WCO berdasarkan aspek sosial—ekonomi dan lingkungan. Selain itu, analisis exergy secara komprehensif yang dapat memberikan informasi terkait justifikasi dan produksi biodiesel dari WCO (Manikandan et al., 2023).

Chuangbin Chen et al., (2021) melakukan penelitian terkait sustainability dan tantangan produksi biodiesel dari WCO dengan advanced bibliometric analysis. Analisis bibliometrik dilakukan untuk mengevaluasi 2750 publikasi dari pusat koleksi database Web of Science (WoS) dari tahun 2000 hingga 2020, untuk menjelaskan pengembangan proses dan tren masa depan dari penelitian produksi biodiesel berbasis WCO. Penelitian ini merupakan penelitian pertama yang menggunakan analisis bibliometrik untuk membangun gambaran komprehensif penelitian produksi biodiesel berbasis WCO (Chen et al., 2021). Yuanhao Zao et al., (2021) melakukan penelitian analisis dampak lingkungan dan kelayakan ekonomi terhadap produksi biodiesel dari bahan baku WCO di China. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dampak lingkungan dan ekonomi secara komprehensif

diseluruh rantai pasok dari cradle to grave, membandingkan dampak lingkungan dan daya saing ekonomi biodiesel berbasis WCO dengan fosil fuel untuk memajukan transisi biodiesel berbasis WCO di China, dan memberikan masukan serta kebijakan dengan informasi yang dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi teknologi, memitigasi dampak lingkungan, dan memperkuat daya saing ekonomi untuk mendorong pengembangan industry biodiesel nasional yang berkelanjutan (Zhao et al., 2021). Spyros Foteinis et al., (2020) melakukan penelitian perbandingan analisis LCA antara biodiesel WCO dengan biodiesel generasi 1 dan 3. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan gambaran dan masukan yang konstruktif terhadap kelestarian lingkungan biodiesel dan juga merekomendasikan rute yang menjanjikan menuju dekarbonisasi Yunani dan sektor transportasi Eropa (Foteinis et al., 2020). Zhongwei Zhang et al., (2022) melakukan penelitian tentang analisis LCA produksi Bio-Jet Fuel dari bahan baku WCO melalui metode hydroconversion. Hasil penelitian menunjukkan bahwa carbon intensity dari bio-jet fuel WCO 63.7% lebih rendah dibandingkan dengan jet fuel konvensional, dan proporsi dari emisi GHG yang disebabkan oleh hydrogen dari WCO sebesar 18.7% (Zhang et al., 2022).

3.2. Tinjauan Teori

Life cycle sustainability assessment (LCSA) merupakan hasil kombinasi dari 3 proses utama, yaitu life cycle assessment (LCA) yang merepresentasikan dimensi lingkungan, life cycle cost analysis (LCCA) yang menggambarkan dimensi ekonomi, dan sosial life cycle assessment (S-LCA) yang merepresentasikan dimensi sosial. Dengan demikian, LCSA dapat ditentukan dengan persamaan seperti berikut ini (Figueiredo et al., 2021):

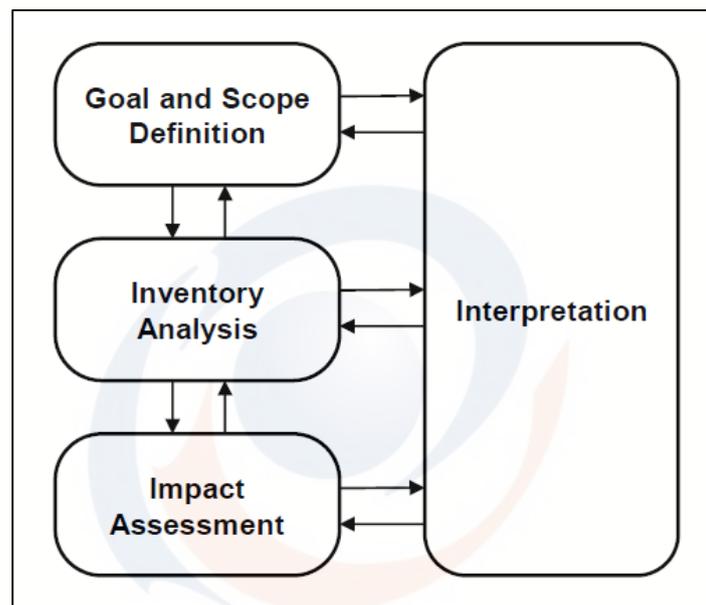
$$LCSA = LCA + SLCA + LCCA \quad (1)$$

Ketiga proses dari Life cycle sustainability assessment (LCSA) akan diuraikan sebagai berikut.

a. Life Cycle Assessment (LCA) for Biodiesel Production

Life cycle assessment (LCA) merupakan suatu metode saintifik untuk mempelajari, mengetahui, dan mengevaluasi dampak lingkungan, dampak terhadap kesehatan manusia, dan dampak terhadap penggunaan sumber daya alam sepanjang siklus hidup produk yang tersertifikasi oleh International Standards Organization

(ISO) (Rahman et al., 2023, Ubando et al., 2022, Batool et al., 2023). Mengingat kemampuan LCA, banyak peneliti-peneliti yang sudah menerapkan metodologi LCA untuk mengetahui dampak lingkungan yang dihasilkan dari pemanfaatan WCO untuk memproduksi bioenergi sepanjang siklus hidupnya. LCA memiliki 4 langkah utama, yaitu (1) *Goal and scope definition*, (2) *life cycle inventory (LCI) analysis*, (3) *life cycle impact assessment (LCIA)*, dan (4) *Improvement and Interpretation* seperti yang ditampilkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka kerja *life cycle assessment* berdasarkan ISO 14040 / 44 (ISO, 2016)

✓ Goal and Scope Definition

Dalam kajian LCA, goal harus menyatakan alasan melakukan kajian LCA dan capaian yang diharapkan dalam kajian LCA. Sedangkan scope menyediakan informasi terkait latar belakang informasi dan pemilihan metode yang detail yang melingkupi sistem produk, fungsi sistem produk, unit fungsi, aliran acuan, system boundaries, metode pemilihan kategori dampak, kualitas data, asumsi, dan keterbatasan data. Kajian LCA dilakukan berdasarkan pernyataan yang dibuat pada tahap pertama, yaitu definisi tujuan dan ruang lingkup. Tahapan pertama ini sangat penting dan berpengaruh terhadap pemilihan metodologi yang digunakan. Berdasarkan ISO 14040/14044 instructions, pada tahapan ini sangat penting untuk menggambarkan fungsi dan batasan sistem daur hidup produk untuk mencapai tujuan

yang ditetapkan. Tinjauan terhadap berbagai kajian LCA yang dilakukan tentang penilaian dampak lingkungan dari pemanfaatan WCO untuk memproduksi biodiesel telah dicapai dengan tujuan yang beragam. Penentuan kelayakan produksi biodiesel dari WCO dari sudut pandang lingkungan dengan mengacu pada kerangka metodologi ISO 14040 dan 14044 merupakan salah satu tujuan paling mendasar yang dipilih dalam kajian LCA WCO biodiesel production (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2022).

✓ Life Cycle Inventory (LCI)

Tahap kedua dari kajian LCA, yaitu life cycle inventory (LCI). Tahap ini merupakan tahapan yang sangat kompleks, membutuhkan biaya, dan waktu yang cukup panjang. Tahap LCI mengkuantifikasi dan mengakumulasi seluruh data input dan output yang terkait di seluruh siklus hidup produk. Data-data yang termasuk kedalam LCI, antara lain data input bahan baku, material pendukung, dan energi, sedangkan data output antara lain sebagai products, co products, emisi ke udara, air, dan tanah, limbah padat, dan limbah cair selama masuk kedalam siklus hidup produk (Osman et al., 2021).

✓ Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Life cycle impact assessment (LCIA) merupakan tahapan ketiga dari kajian LCA. Tahapan ini bertujuan untuk menilai besarnya kontribusi LCI terhadap dampak lingkungan di sepanjang siklus hidup produk. Beberapa metode LCIA sudah dikembangkan dan diterbitkan, antara lain Eco-indikator 99, Recipe, CML, EDIP 2003, TRACI, Impact 2002+, LUCAS, IMPACT world+, etc. Metode LCIA dapat dibagi menjadi 2, yaitu mid-point categories dan endpoint categories.

Mid-point categories digunakan untuk menampilkan spesifik kategori dampak seperti global warming potential (GWP 100 years), Abiotic depletion (ADP elements), Abiotic depletion (ADP fossil), Acidification potential, Human toxicity, Photochemical oxidation, Eutrophication potential dll. Endpoint categories merupakan agregat dari the mid-point categories, yaitu human health, ecosystem quality, dan resource depletion

✓ Uncertainty and Sensitivity Analysis

Analisis ketidakpastian bertujuan untuk mengetahui dan mengidentifikasi kategori dampak yang paling berpengaruh terhadap ketidakpastian LCI. Analisis ketidakpastian dan hasil yang signifikan dinilai melalui analisis Monte Carlo. Analisis ketidakpastian ditandai dengan nilai coefficient of variation (CV), yaitu perbandingan antara standard deviation (SD) dan mean (titik tengah indikator). Semakin besar nilai CV dari kategori dampak lingkungan, maka semakin paling terpengaruh dari ketidakpastian LCI (Rahman et al., 2023).

Analisis sensitivitas bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh skenario yang dilakukan terhadap pengurangan atau penambahan nilai dampak lingkungan yang dihasilkan. Dengan melakukan analisis sensitivitas dapat mengetahui skenario terbaik yang bisa dilakukan untuk mengurangi dampak lingkungan berdasarkan hotspot hasil LCIA.

✓ Interpretation

Interpretation merupakan proses akhir dari LCA yang sangat penting dan krusial dalam menilai keakuratan study, ketidakpastian, keterbatasan, serta apakah tujuan dan ruang lingkungannya tercapai. Proses interpretasi dilakukan untuk mengevaluasi keseluruhan proses dari studi LCA, mulai dari hasil LCI, LCIA, kesimpulan, dan rekomendasi yang diambil, dibuat, dan dihasilkan dari seluruh siklus hidup produk. Menurut ISO 14040, proses interpretasi harus mengklarifikasi bahwa hasil LCA menunjukkan potensi dampak lingkungan, namun hal tersebut tidak memperkirakan dampak sebenarnya pada kategori dampak tertentu (Fokaides and Christoforou, 2016). Pada tahap ini juga dilakukan proses penafsiran hasil analisis sensitivitas untuk mengevaluasi apakah asumsi pemodelan utama berpengaruh signifikan atau tidak (Adams et al., 2015).

Pemeriksaan konsistensi diperlukan pada tahap awal proses interpretasi secara berurutan untuk mengetahui apakah asumsi, metode, model, dan data diterapkan dalam analisisnya secara konsisten berdasarkan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Pemeriksaan kelengkapan juga dianggap perlu dalam proses ini untuk memastikan bahwa semua informasi yang relevan dan data yang diperlukan untuk

proses interpretasi tersedia dan lengkap. Proses interpretasi bertujuan untuk menunjukkan kontribusi aliran, proses, atau dampak terhadap hasil penelitian. Proses interpretasi juga dapat mencakup analisis gangguan, dimana dampak perubahan kecil dalam sistem terhadap hasil LCA yang dievaluasi. Pada tahap terakhir proses interpretasi, dihasilkan kesimpulan dan rekomendasi berdasarkan hasil yang diperoleh dari tahap LCA sebelumnya (Fokaides and Christoforou, 2016)

b. Life Cycle Cost Analysis (LCCA) for Biodiesel Production

Produksi bioenergy dari bahan baku WCO memiliki salah satu keunggulan utama, yaitu dapat berkontribusi terhadap sirkular ekonomi dan tujuan pembangunan berkelanjutan. Sirkular ekonomi berfokus pada penambahan nilai yang lebih tinggi pada proses daur ulang bioresidu berbiaya rendah dengan proses yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Keunggulan tersebut mendorong banyak negara dan peneliti untuk mengembangkan produksi bioenergy dari WCO, salah satunya biodiesel WCO. Pemanfaatan WCO untuk bioenergy mampu mengurangi penggunaan WCO secara berulang-ulang dalam rantai pasokan makanan sehingga sangat bermanfaat terhadap kesehatan manusia dan mengurangi dampak lingkungan terhadap pembuangan WCO yang sembarangan. Akan tetapi, banyak peneliti menunjukkan bahwa pengumpulan dan pre-treatment WCO sebelum proses transterifikasi/proses lain menimbulkan banyak masalah lingkungan. Terutama energi dan bahan kimia yang digunakan dalam proses pre-treatment dapat mempengaruhi berkelanjutan dari proses produksi bioenergy dari WCO (Manikandan et al., 2023).

Berbagai penelitian sudah dikaji bahwa metode LCA dapat dilakukan untuk menganalisis dampak lingkungan dan sosial ekonomi dari proses produksi bioenergy dari WCO. Analisis ekonomi terhadap proses produksi bioenergy dari WCO harus menawarkan solusi terhadap masalah teknis dan ekonomi supaya bisa feasibility, menguntungkan dan berkelanjutan. Analisis ekonomi ini menggunakan metode life cycle cost analysis (LCCA). LCCA approach dapat menghitung dan mengestimasi total biaya produksi bioenergy dari WCO yang terdiri proses pengumpulan WCO, bioenergy plant fixed assets depreciation, dan produksi bioenergy dengan mengadopsi persamaan 1 (Zhao et al., 2021).

$$C_{tot} = C_{WCO} + C_{dep} + C_{prod} \quad (2)$$

C_{tot} merupakan total biaya dari proses produksi bioenergy, C_{WCO} merupakan biaya pengumpulan WCO, C_{dep} merupakan biaya bioenergy plant fixed assets depreciation (seperti bangunan dan mesin dari bioenergy pre-treatment, dan production plants), dan C_{prod} merupakan biaya produksi bioenergy. Sedangkan untuk menghitung keuntungan ekonomi supaya dapat mengetahui kelayakan ekonomi dari proses produksi bioenergy dari WCO menggunakan persamaan 2 (Zhao et al., 2021).

$$PEF_{bio} = P_{bio} - C_{tot} \quad (3)$$

PEF_{bio} merupakan bioenergy's economic profit dan P_{bio} merupakan bioenergy's sale price yang dapat dihitung menggunakan persamaan 3 (Esmaeili, 2022).

$$P_{bio} = \frac{OC - BPC}{PY} \quad (4)$$

OC merupakan operating cost (\$/year) yang terdiri dari biaya produksi langsung seperti bahan baku, utilitas, dan tenaga kerja, biaya tetap seperti pajak, biaya umum seperti biaya pengembangan dan penelitian, serta biaya keuangan. Biaya lain-lain seperti biaya pemeliharaan, service, bahan kimia yang digunakan, dan biaya modal kerja yang mempengaruhi biaya produksi. BPC merupakan byproduct credit (\$/year) dan PY merupakan product year (kg/year) (Esmaeili, 2022). Pada umumnya faktor-faktor yang mempengaruhi biaya produksi bioenergy dari WCO, antara lain:

- ✓ Feedstock seperti WCO, tallow, plant oil, dan methanol
- ✓ Biaya modal dan operasional seperti pabrik pengolahan, services, methanol, katalis, raw material, penyimpanan produk, dan bangunan-bangunan.
- ✓ Produk samping dari proses produksi bioenergy sebagai sumber pendapatan sekunder
- ✓ Kualitas dan efisiensi dari proses produksi bioenergy dari WCO.

c. Social Life Cycle Assessment (SLCA) for Biodiesel Production

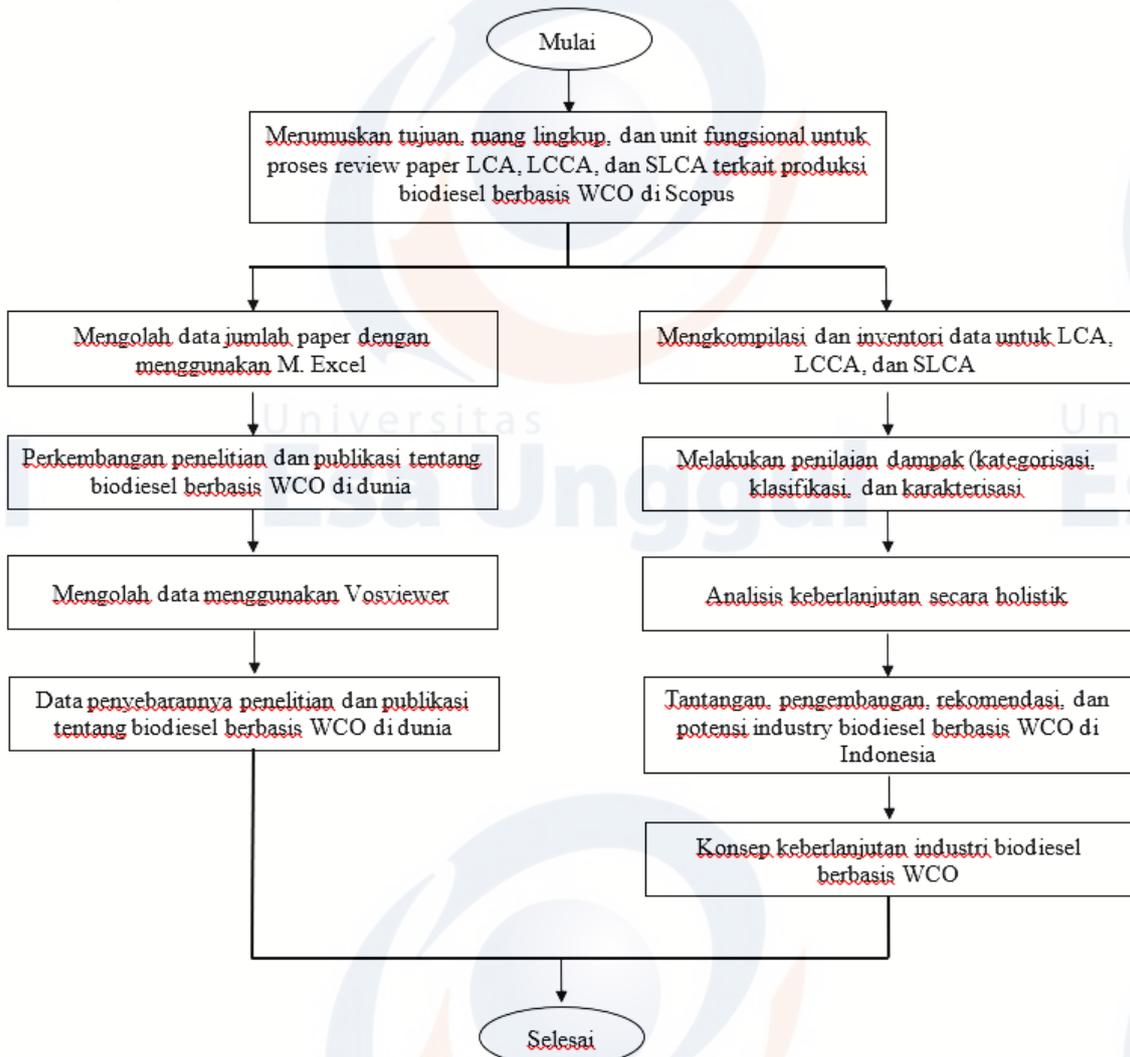
Dampak sosial merupakan komponen yang sangat penting dari berkelanjutan. SLCA merupakan sebuah metode untuk mengevaluasi dampak sosial dan sosial ekonomi melalui analisis siklus hidup secara objektif sepanjang siklus hidup produk, yaitu ekstraksi dan proses raw material, manufacturing, distribution, use, reuse, maintenance, recycling, dan final disposal (UNEP, 2009, Tian et al., 2020). Hampir semua framework dari LCCA dan SLCA sama dengan LCA, yaitu goal and scope

definition, life cycle inventory, life cycle impact assessment, dan interpretation serta dikombinasi dengan metode sosial sciences. Hal tersebut akan mengubah aspek sosial dan aspek sosial ekonomi menjadi profil kinerja sosial suatu produk sepanjang siklus hidupnya (Hackenhaar et al., 2024). Aliran material dan energy harus diganti dengan index sosial yang terkait dengan SLCA. Sama halnya dengan dampak lingkungan untuk SLCA, datanya harus diubah menjadi nilai dampak yang berhubungan dengan sosial (Lin et al., 2020). SLCA mempunyai dua tujuan, yaitu untuk mendiskripsikan sistem produk dan kinerja sosialnya atau resiko sosial dan untuk mengkarakterisasi dampak sosial sebagai konsekuensi dari sistem produk sepanjang siklus hidupnya. Hal yang sangat penting dalam SLCA, yaitu mengidentifikasi dan memilih stakeholder groups.

Indikator-indikator tersebut menggambarkan dampak-dampak yang secara langsung mempengaruhi the people, seperti stakeholders dari sistem produk. Kategori stakeholders dapat berupa pekerja, komunitas lokal, pelaku rantai pasok seperti suppliers, konsumen, anak-anak, dan masyarakat (UNEP, 2020, Hackenhaar et al., 2024). Kategori stakeholders tersebut termasuk in the assessment framework bersama dengan main impact categories (human rights, working conditions, health and safety, culture heritage, governance, and socioeconomic repercussions), dan banyak lagi sub kategori seperti local employment, hours of work, fair salary, dll.

BAB IV METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan mereview paper-paper yang berkaitan dengan LCSA yang meliputi LCA, LCCA, dan SLCA dari proses produksi biodiesel berbasis WCO. Kemudian jumlah paper yang dipublikasi melalui Scopus dalam rentang waktu 2013—2024 melalui judul artikel, abstrak, dan keyword dianalisis menggunakan Microsoft Excel untuk mengetahui Perkembangan penelitian dan publikasi dengan topik pemanfaatan waste cooking oil (WCO) untuk bioenergy (biodiesel, bietanol, biogas, biojet fuel). Selain itu, perkembangan penelitian dan publikasi di Scopus kemudian dilakukan juga analisis menggunakan Vosviewer untuk mengetahui gambaran dan penyebarannya hingga saat ini. Digaram alir penelitian seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.

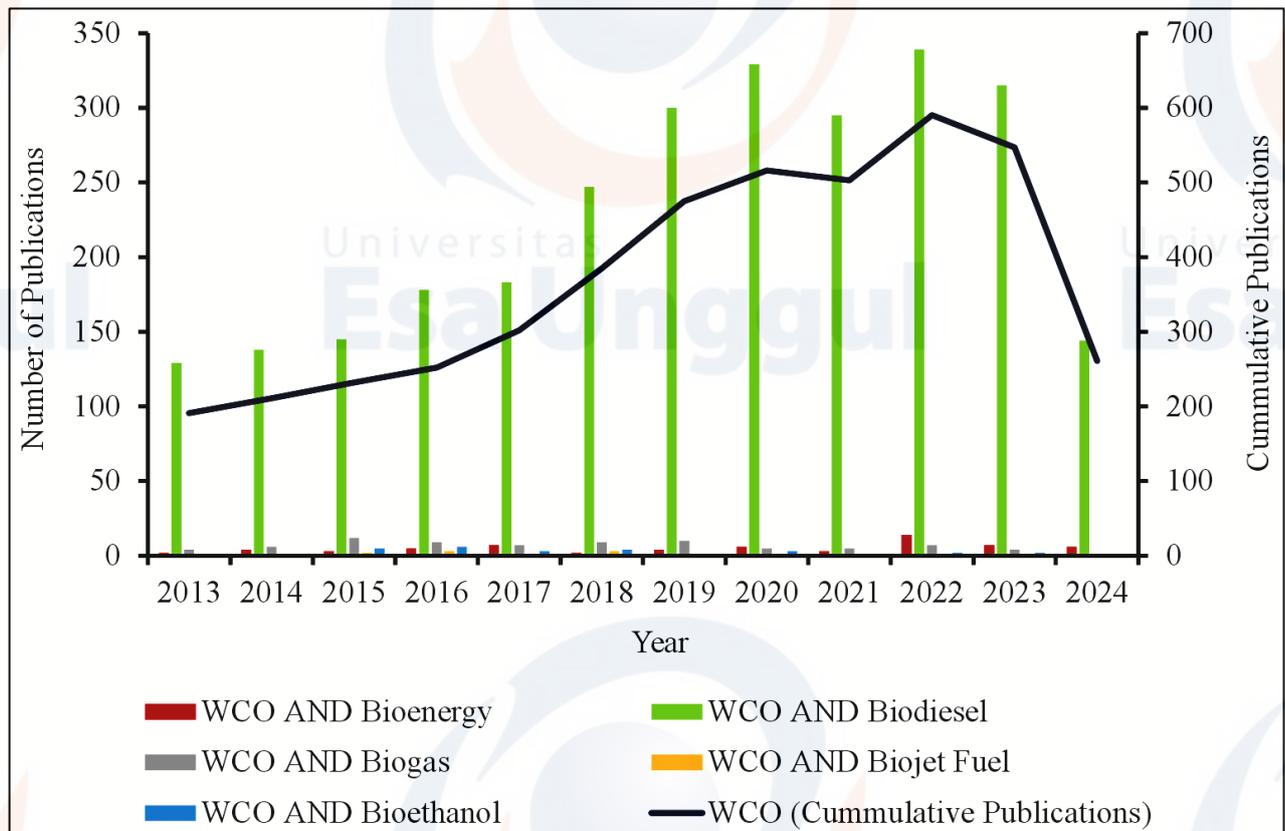


Gambar 3. Diagram alir penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1. Development of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production

Perkembangan penelitian dan publikasi dengan topik pemanfaatan waste cooking oil (WCO) untuk bioenergy (biodiesel, bioetanol, biogas, biojet fuel) mengalami trend yang fluktuatif, tetapi cenderung meningkat seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Hal tersebut dilihat dari jumlah paper yang dipublikasi melalui Scopus dalam rentang waktu 2013—2024 melalui judul artikel, abstrak, dan keyword, diperoleh sebanyak 4,465 dokumen tentang waste cooking oil. Jumlah paper yang dipublikasi melalui Scopus berdasarkan keywords waste AND cooking AND oil AND biodiesel sebanyak 2.742 dokumen, waste AND cooking AND oil AND bioenergy 63 dokumen, waste AND cooking AND oil AND bioethanol sebanyak 30 dokumen, waste AND cooking AND oil AND biogas 78 dokumen, dan waste AND cooking AND oil AND biojet fuel 11 dokumen.

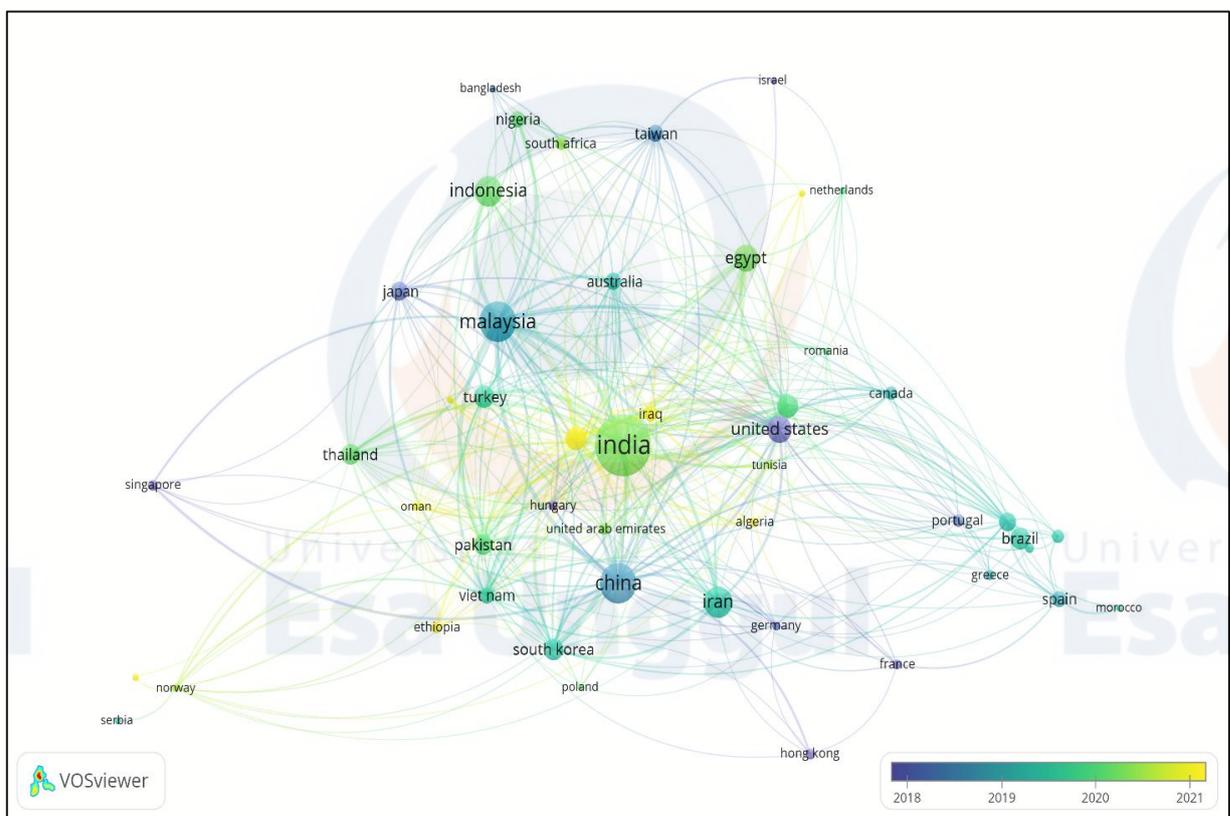


Gambar 4. Jumlah publikasi berdasarkan keywords waste cooking oil yang terindex scopus dalam 11 tahun terakhir

Perkembangan penelitian dan publikasi di Scopus kemudian dilakukan analisis menggunakan Vosviewer untuk mengetahui gambaran dan penyebarannya hingga saat ini. Metadata terhadap dokumen penelitian dan publikasi di Scopus dengan keywords waste AND cooking AND oil, waste AND cooking AND oil AND biodiesel, waste AND cooking AND oil AND bioenergy, waste AND cooking AND oil AND bioethanol, waste AND cooking AND oil AND biogas, dan waste AND cooking AND oil AND dikumpulkan sebagai dataset tipe CVS (Comma Separated Values). File CVS merupakan tipe file khusus yang dapat dibuat atau diedit di Excel. Data file CVS tersebut kemudian dianalisis menggunakan VosViewer berdasarkan bibliographic data dan dilakukan penyaringan melalui kejadian/kemunculan (co-occurrence) berdasarkan all keyword, serta dihitung sesuai kejadian (full counting). Dari hasil metadata yang diperoleh kemudian dilakukan penyaringan dengan mengambil batasan minimal kemunculan keyword pada 50 dokumen. Hasil yang diperoleh menunjukkan dari 12,005 keyword yang ada terpilih sebanyak 141 keyword. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan keyword biodiesel muncul terbanyak pada 2,206 dokumen dengan total link strength 19,135, artinya keyword biodiesel memiliki hubungan dengan 19,135 keywords lainnya. Sedangkan keyword waste cooking oil muncul pada 1,477 dokumen dan memiliki hubungan dengan 13,281 keywords lainnya, keyword transterification muncul pada 800 dokumen dan memiliki hubungan dengan 7,961 keywords lainnya. The overlay visualization of co-occurrence map seperti yang ditampilkan oleh Gambar 5.

Peta yang diperoleh kemudian dianalisis secara kualitatif dengan melihat ketebalan link antara keyword and term. Semakin tebal link nya menunjukkan semakin kuat hubungan antara keyword dan term yang terkoneksi. The keyword co-occurrence map menunjukkan 4 main clusters. Klaster pertama menunjukkan hubungan keyword yang paling kuat, dan klaster keempat menunjukkan hubungan keyword yang paling lemah. Keywords yang masuk klaster 1, yaitu biofuel, biogas, biomass, renewable energi, vegetable oil, keywords yang masuk klaster kedua, yaitu alternative fuel, biodiesel, waste cooking oil, diesel fuel, fossil fuel. Sedangkan yang masuk klaster ketiga, yaitu biodiesel synthesis, catalyst concentration, nano catalyst, transterifikasi, synthetic fuel, dan yang masuk klaster keempat, yaitu faty acid methyl ester, free faty acid, feedstock, sunflower oil, ester.

memiliki bahan baku yang melimpah, serangkaian kebijakan yang terkoordinasi dengan baik, dan juga didukung oleh politik tingkat tinggi. Hal tersebut menyebabkan penelitian dan publikasi secara masif tentang biofuel/bioenergy di India terus meningkat. Riset dan publikasi tentang waste cooking oil khususnya untuk produksi biodiesel di seluruh dunia relatif cenderung meningkat dalam 11 tahun terakhir. Banyak negara-negara menetapkan target untuk memenuhi 10-20% kebutuhan bahan bakar transportasi menggunakan biodiesel berbasis WCO. Demikian juga Pemerintah India bermaksud untuk mengumpulkan 5% dari konsumsi minyak nabati sebagai bahan baku produksi biodiesel, sesuai dengan kebijakan biofuel yang terbaru (Manikandan et al., 2023).



Gambar 6. International Collaborative research of waste cooking oil for bioenergy

6.2. Literature review of LCSA to used Waste Cooking Oil for Biodiesel

Production

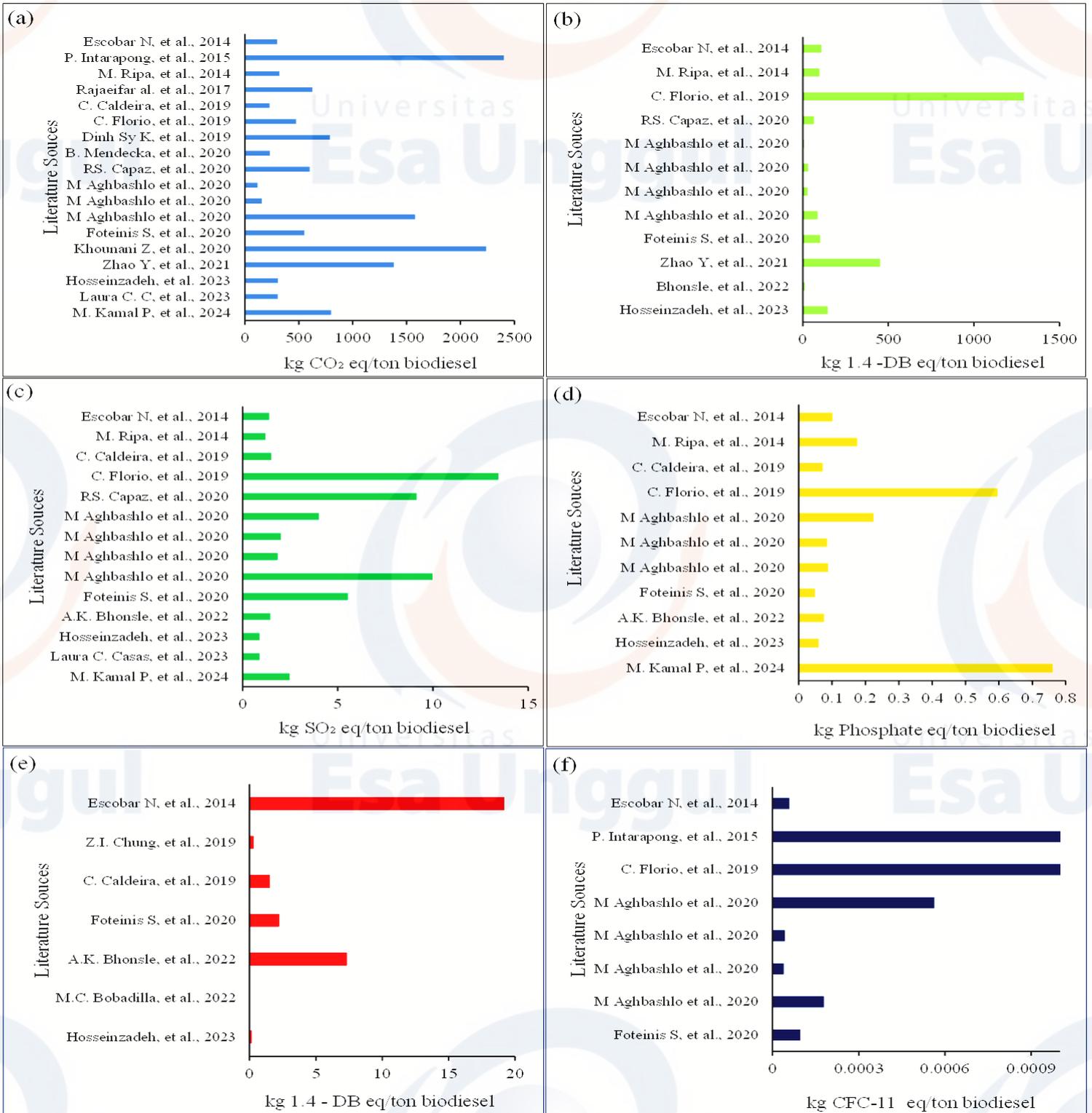
a. Life Cycle Assessments (LCA)

Berdasarkan proses produksi bioenergy (biodiesel, bioethanol, biogas, dan biojet fuel) diperoleh dampak lingkungan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Gambar 7

menunjukkan ada enam kategori dampak lingkungan terbesar selama proses produksi bioenergy dari WCO, yaitu (a) GWP (Escobar et al., 2014, Intarapong et al., 2016, Ripa et al., 2014, Rajaeifar et al., 2017, Caldeira et al., 2019, Florio et al., 2019, Khang et al., 2019, Mendecka et al., 2020, Capaz et al., 2020, Aghbashlo et al., 2020, Foteinis et al., 2020, Khounani et al., 2020, Zhao et al., 2021, Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2023, Casas et al., 2023, Pasha et al., 2024), (b) human toxicity (Escobar et al., 2014, Ripa et al., 2014, Florio et al., 2019, Capaz et al., 2020, Aghbashlo et al., 2020, Foteinis et al., 2020, Zhao et al., 2021, Bhonsle et al., 2022, Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2023), (c) acidification potential (Escobar et al., 2014, Ripa et al., 2014, Caldeira et al., 2019, Florio et al., 2019, Capaz et al., 2020, Aghbashlo et al., 2020, Foteinis et al., 2020, Bhonsle et al., 2022, Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2023, Casas et al., 2023, Pasha et al., 2024), (d) eutrophication potential (Escobar et al., 2014, Ripa et al., 2014, Caldeira et al., 2019, Florio et al., 2019, Aghbashlo et al., 2020, Foteinis et al., 2020, Bhonsle et al., 2022, Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2023, Pasha et al., 2024), (e) freshwater aquatic ecotoxicity (Escobar et al., 2014, Chung et al., 2019, Caldeira et al., 2019, Foteinis et al., 2020, Bhonsle et al., 2022, Corral-Bobadilla et al., 2022, Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2023), dan (f) ozon layer depletion (Escobar et al., 2014, Intarapong et al., 2016, Florio et al., 2019, Aghbashlo et al., 2020, Foteinis et al., 2020). Nilai kategori dampak yang cenderung berbeda-beda disebabkan oleh tujuan dan ruang lingkup, sistem boundary, LCI, asumsi, metodologi, dan database yang berbeda-beda. Nilai GWP berkontribusi paling tinggi dibandingkan dengan kategori dampak lainnya diseluruh proses produksi bioenergy dari WCO. Nilai GWP tertinggi rata-rata dari metode konversi WCO ke biodiesel seperti metode pirolisis dengan nilai GWP 2,404. 25 kg CO₂ eq/ton biodiesel (Intarapong et al., 2016), metode transterifikasi dengan nilai GWP 1,382.82 kg CO₂ eq/ton biodiesel (Zhao et al., 2021), penggunaan energi listrik dari fossil fuel dengan nilai GWP 1,581 kg CO₂ eq/ton biodiesel (Aghbashlo et al., 2020), metode transterifikasi dengan nilai GWP 799.94 kg CO₂ eq/ton biodiesel (Pasha et al., 2024), serta dari metode mazut extraction dan burning dengan nilai GWP 553 kg CO₂ eq/ton biodiesel (Foteinis et al., 2020).

Nilai kategori dampak yang tinggi kedua, yaitu human toxicity. Kategori dampak ini disebabkan oleh proses upgrading dari biogas ke bioCH₄ dengan nilai 1291.66 kg 1.4 -DB eq (Florio et al., 2019), proses transterifikasi produksi biodiesel dari

WCO dengan nilai 451.56 kg 1.4 -DB eq (Zhao et al., 2021), reaksi transterifikasi dengan nilai 144 kg 1.4 -DB eq (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2023), dan proses transterifikasi dengan nilai 96.6 kg 1.4 -DB eq (Ripa et al., 2014). Kategori dampak terbesar ketiga dari proses produksi bioenergy dari WCO, yaitu acidification potential. Kategori dampak ini disebabkan oleh proses upgrading dari biogas ke bioCH₄ dengan nilai 13.417 kg SO₂ eq (Florio et al., 2019), proses downstream saat proses hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA) proses produksi biojet fuel dari WCO dengan nilai 9.132 kg SO₂ eq (Capaz et al., 2020), penggunaan electricity dan steam selama proses transterifikasi produksi biodiesel dari WCO dengan nilai 2.46 kg SO₂ eq (Pasha et al., 2024). Kategori dampak terbesar keempat dari proses produksi bioenergy dari WCO, yaitu eutrophication potential. Kategori dampak ini disebabkan oleh penggunaan enzym dan limbah hasil produksi biodiesel WCO dengan nilai 0.76 kg phosphaphate eq (Pasha et al., 2024), proses upgrading dari biogas ke bioCH₄ dengan nilai 0.6 kg phosphaphate eq (Florio et al., 2019), methanolysis temperature process pada produksi biodiesel WCO dengan nilai 0.223 kg phosphaphate eq (Aghbashlo et al., 2020)



Gambar 7. Dampak lingkungan dari proses produksi bioenergy dari WCO: (a) GWP, (b) human toxicity, (c) acidification potential, (d) eutrophication potential, (e) freshwater aquatic ecotoxicity, (f) ozon layer depletion

Nilai kategori dampak yang tinggi selanjutnya dari proses produksi bioenergy dari WCO, yaitu, freshwater aquatic ecotoxicity. Kategori dampak ini disebabkan oleh proses transterifikasi dan pretreatment dengan nilai 19.8 kg 1.4 -DB eq (Escobar et al., 2014, Tsoutsos et al., 2016), proses transterifikasi yang melibatkan WCO, methanol, KOH, dan pelarut lainnya yang menyebabkan peningkatan emisi dengan nilai 7.32 kg 1.4 -DB eq (Bhonsle et al., 2022), dan emisi dari proses pembakaran dan ekstraksi mazut serta biodiesel distillation residu burning seperti produksi CH_3OH , CH_3KO , dan H_2SO_4 dengan nilai 2.2 kg 1.4 -DB eq (Foteinis et al., 2020). Nilai kategori dampak lainnya dari proses produksi bioenergy dari WCO, yaitu, ozon layer depletion. Kategori dampak ini disebabkan oleh proses upgrading dari biogas ke bio CH_4 yang menghasilkan emisi yang berdampak kepada mineral resource scarcity category dengan nilai 0.00341 kg CFC-11 eq (Florio et al., 2019), proses blending produksi biodiesel dari WCO dengan nilai 0.0152 kg CFC-11 eq (Intarapong et al., 2016), methanolysis temperature process pada produksi biodiesel WCO dengan nilai 0.000178 kg CFC-11 eq.

Berdasarkan hasil kajian dari berbagai literatur review menunjukkan bahwa bioenergy (biodiesel, bioethanol, biogas, dan biojet fuel) merupakan bahan bakar yang paling berkelanjutan dan ramah lingkungan dibandingkan dengan sumber daya fosil maupun bahan baku lainnya. Escobar N et al., (2014) menunjukkan bahwa produksi biodiesel dari WCO di Spanyol menghasilkan manfaat dampak lingkungan yang lebih baik dibandingkan dengan imported soybean biodiesel dari Argentina (Escobar et al., 2014). Biodiesel WCO memiliki potensi untuk meningkatkan environmental performance dan perekonomian dibandingkan dengan crop based oil seperti soybean, rapeseed, palm, and soya (Caldeira et al., 2015). Produksi diesel dari WCO menggunakan metode pirolisis menghasilkan GWP yang lebih kecil dibandingkan dengan produksi biodiesel dari crude palm oil (CPO) (Intarapong et al., 2016) dan memiliki dampak lingkungan yang lebih kecil dibandingkan dengan jatropha oil (Chung et al., 2019). Penelitian lain menunjukkan bahwa B20 WCO menghasilkan GWP yang lebih kecil dibandingkan dengan rapeseed oil dan petroleum-based diesel (Viorneri-Portillo et al., 2020). Penelitian lain yang dilakukan di Indonesia menunjukkan bahwa produksi biodiesel dari WCO menghasilkan GWP yang jauh lebih rendah sebesar 0.22 kg CO_2 eq/L biodiesel

dibandingkan dengan crude palm oil (CPO) sebesar 8.01 kg CO₂ eq/L biodiesel yang merupakan bahan baku utama biodiesel di Indonesia (Widyarini, 2022).

Meskipun produksi bioenergy dari WCO menghasilkan dampak lingkungan yang lebih kecil dibandingkan dengan bahan bakar fosil dan feedstock lain, namun pada proses pengumpulan, pretreatment dan transterifikasi merupakan tahapan yang menghasilkan dampak lingkungan terbesar dibandingkan dengan tahapan yang lain (Tsoutsos et al., 2016). Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan terhadap proses pengumpulan, pretreatment dan transterifikasi harus terus dilakukan supaya menghasilkan dampak lingkungan yang lebih kecil, efisien, dan berkelanjutan. Future investigations harus melakukan proses optimasi terhadap proses pengumpulan WCO yang melibatkan transportasi, penggunaan bahan kimia dan katalis yang ramah lingkungan pada proses pretreatment dan transterifikasi, juga fokus pada teknologi penangkapan dan recovery CO₂, serta teknologi konversi yang terbaru yang tersedia yang dapat mengurangi dampak lingkungan.

b. Life Cycle Cost Analysis (LCCA) for Biodiesel Production

Penelitian-penelitian terkait analisis LCCA tentang produksi bioenergy dari WCO belum banyak dilakukan. Shogo Eguchi et al., (2015) melakukan kajian peforma lingkungan dan ekonomi terhadap pabrik biodiesel yang menggunakan bahan baku WCO (Eguchi et al., 2015). Yuanhao Zhao et al., (2021) melakukan kajian kelayakan dampak lingkungan dan ekonomi terhadap produksi biodiesel dari WCO di China (Zhao et al., 2021). Hossein Esmaeli (2022) melakukan kajian kritikal review dari aspek ekonomi dan lingkungan terhadap produksi biodiesel dari berbagai jenis bahan baku, salah satunya WCO (Esmaeili, 2022). Laura C Casas et al., (2023) melakukan kajian berkelanjutan terhadap pemanfaatan WCO salah satunya untuk biodiesel di Colombia (Casas et al., 2023). Gurunathan Manikandan et al., (2023) melakukan kajian kelayakan secara ekonomi dan lingkungan terhadap potensi WCO sebagai bahan baku biofuel di India (Manikandan et al., 2023). Tabel 1 menunjukkan data inventori biaya untuk memproduksi 1 ton biodiesel dari WCO, Tabel 2 menunjukkan biaya investasi yang dibutuhkan oleh industry bioenergy berbasis WCO, dan Tabel 3 menunjukkan perbandingan biaya produksi 1 ton bioenergy WCO dengan bahan baku lainnya.

Tabel 1. Data inventori biaya produksi 1 ton biodiesel (Zhao et al., 2021, Varanda et al., 2011)

Process	Inventory	Cost (USD)
Collection	Food residues	651.26
	Electricity	1.26
	Coal	1.06
	Diesel	44.05
Pretreatment	Electricity	2.42
	Coal	1.91
	Sulfuric acid	0.10
	Sodium hydroxide	4.38
	Depreciation of fixed assest	1.85
	Labor force	2.00
Transesterification	Water	0.17
	Methanol	58.80
	Sulfuric acid	0.84
	Sodium hydroxide	0.43
	Coal	11.20
	Electricity	14.45
	Depreciation of fixed assest	9.25
	Labor force	9.98
Transportation	Diesel	40.01
Raw Materials	NaOH	0.53
	CH ₃ OH	30.06
	H ₃ PO ₄	0.74
	H ₂ SO ₄	0.45
	Glycerol	9.82
	WCO	160.94
Utilities	Electricity	0.37
	Water	35.18
	Steam	40.69
Waste treatment	Methanol+water	25.49
	Na ₃ PO ₄	20.66
	H ₂ SO ₄ +glycerol+methanol	57.22

Tabel 2. Biaya investasi yang dibutuhkan oleh industry bioenergy berbasis WCO (Korakaki and Georgakellos, 2014, Al-attab et al., 2017, Innocenzi and Prisciandaro, 2021, Mahmood et al., 2022)

Type	Cost (USD)
Land	2,639,000
Equipment and Machinery	203,060
Civil Work	455,400
Working Capital	1,019,590—1,117,610
Pre-Investment Expenditures	104,390
Inner Building	6,976.7
Lighting	2,325.6
Electrical Connection	4,651.2
Electrical Board	2,325.6
Piping Conection	3,720.9
Pumps	1,074.4
Stirrers	697.67
Measuring Equipment	2,325.6
2 Generators 15 kW	26,000
Tanks	4,176.7
Water Treatment Unit	15,000
Methoxide Mixer	697.67
Maintenance	6,000

Tabel 3. Perbandingan biaya produksi 1 ton bioenergy WCO dengan bahan baku lainnya

Refences	Feedstock	Product	Cost (USD/ton)
(Zhao et al., 2021)	WCO	biodiesel	855.4
(Varanda et al., 2011)	WCO	biodiesel	382.2
(Varanda et al., 2011)	Vegetable oil	biodiesel	497.6
(Esmaeili, 2022)	WCO	biodiesel	224

(Esmaeili, 2022)	Crude palm oil	biodiesel	543
(Khan et al., 2019)	WCO	biodiesel	230-660
(Chrysikou et al., 2019)	WCO	biodiesel	800
(Kara et al., 2018)	Waste animal oil	biodiesel	690
(Rahimi and Shafiei, 2019)	Castor oil	biodiesel	280
(Manikandan et al., 2023)	WCO	biofuel	611-660
(Seber et al., 2014)	Waste oil	Jet Fuel	637
(Goh et al., 2020)	WCO	biodiesel	660
(Varanda et al., 2011)	Rapeseed	biodiesel	690
(Yeboah et al., 2013)	Soybean	biodiesel	658
(Ruatpuia et al., 2024)	Jatropha curcas	biodiesel	560-780
(Yeboah et al., 2013)	Crude oil	Diesel	395

Tabel 1 menunjukkan bahwa proses collection, raw material (feedstock and chemical), dan proses transterifikasi membutuhkan biaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses yang lain dalam memproduksi 1 ton bioenergy berbasis WCO. Penelitian yang dilakukan oleh Haseeb Yaqoob, et al., (2021) juga menunjukkan data yang sama, bahwa feedstock termasuk proses pengumpulannya dan chemical berkontribusi sebesar 70% dari total biaya produksi biodiesel berbasis WCO (Yaqoob et al., 2021). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa total biaya raw material sekitar 60—75% dari biaya produksi biodiesel WCO (Rekhate and Prajapati, 2019, Korakaki and Georgakellos, 2014) dan biaya bahan kimia menjadi komponen utama dari biaya produksi biodiesel (Innocenzi and Prisciandaro, 2021). Biaya produksi yang tinggi menjadi salah satu tantangan dalam memproduksi biodiesel WCO. Oleh karena itu, biaya produksi harus bisa diusahakan untuk lebih rendah dengan salah satu caranya, yaitu melakukan proses a continuous transesterifikasi. Penelitian yang dilakukan oleh De Araujo et al., (2013) menunjukkan bahwa hasil penelitiannya mampu menurunkan in the direct cost of

production hingga 45%, walaupun ada penambahan biaya pada proses pretreatment (de Araújo et al., 2013).

Aspek ekonomi lain yang penting untuk dipertimbangkan dalam proses membangun industry bioenergy berbasis WCO, yaitu feasibility study. Economic feasibility merupakan suatu metode yang terbukti sangat baik untuk mengidentifikasi the most sustainable option untuk memproduksi bioenergy berbasis WCO dari sudut pandang ekonomi. Beberapa parameter standar ekonomi teknik, seperti net present value (NPV), internal rate of return (IRR), dan payback period (PBP) seperti yang ditunjukkan pada persamaan 5—7, dijadikan sebagai indikator economic feasibility (Adiarso et al., 2024, Febijanto et al., 2024).

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (5)$$

$$IRR = r_a + \frac{NPV_a}{NPV_a - NPV_b} (r_b - r_a) \quad (6)$$

$$PBP = \frac{\text{initial cost of invesment}}{(\text{cash inflows} - \text{cash outflows})} \quad (7)$$

Dimana N merupakan total number periods, n merupakan non negative integer, C_n merupakan cash flow, r_a merupakan chosen lower discount rate, r_b merupakan chosen higher discount rate, NPV_a merupakan NPV pada r_a , NPV_b merupakan NPV pada r_b .

M.N, Hussain et al., (2016) melakukan investigasi kelayakan WCO untuk produksi biodiesel. Berbagai survey dilakukan untuk mengumpulkan informasi tentang jenis minyak goreng, metode pembuangan, dan produksi WCO. Penelitian tersebut mengevaluasi 7 skenario berdasarkan nilai NPV, IRR, dan harga penjualan untuk membuat biodiesel berbasis WCO dapat diterima dan menarik. Metode sonikasi dan konvensional dievaluasi terhadap turunan biodiesel berbasis WCO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi biodiesel berbasis WCO dengan metode sonikasi dalam skala besar lebih menguntungkan karena harga WCO yang rendah, dan biaya produksi juga yang lebih rendah sehingga mampu mengurangi harga jual dan biaya subsidi yang rendah. Oleh karena itu, diperlukan karakterisasi yang komprehensif dan penggunaan biodiesel berbasis WCO dalam skala besar dapat menjadi alternatif yang tepat untuk menggantikan petrodiesel. Hal tersebut disebabkan biodiesel berbasis WCO dapat mengurangi dampak lingkungan karena mampu mendaur ulang WCO secara efektif tanpa mengeluarkan energi bersih (Hussain et al., 2016).

Korakaki M et al., (2014) melakukan produksi biodiesel berbasis WCO menggunakan metode alkaline transesterification dan supercritical transesterification. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode alkaline transesterification menghasilkan payback periode yang lebih cepat dibandingkan dengan supercritical transesterification pada semua harga yang dipertimbangkan. Sedangkan untuk NPV menunjukkan bahwa alkaline transesterification dapat diterima untuk seluruh kisaran harga, sedangkan supercritical transesterification dapat diterima untuk harga sekitar 0.99—1.122 USD/L. IRR proyek dalam kasus alkaline transesterification dapat diterima untuk harga biodiesel 0.99; 0.726; 1.056; 0.858; dan 1.122 USD/L, Sebaliknya, jika proses supercritical transesterification dipilih, maka IRR proyek hanya dapat diterima untuk harga biodiesel sebesar 1.056 dan 1.122 USD/L. Oleh karena itu, IRR terbaik dari alkaline transesterification adalah sebesar 19% dengan harga biodiesel 0.99 USD/L dan supercritical transesterification sebesar 17% dengan harga biodiesel 1.056 USD/L (Korakaki and Georgakellos, 2014).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Valentina et al., (2021) yang melakukan kajian economic feasibility terhadap produksi biodiesel berbasis WCO dengan menggunakan traditional process dan hydrodynamic cavitation. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi biodiesel berbasis WCO dengan traditional process menghasilkan net annualized cost sebesar 2,883.18 (kUSD/year), revenue 5,144.8 (USD/year), net profit sebesar 2,310.44 (\$/year), PBP 2—3 years, dan ROI sebesar 70.88%. Sedangkan produksi biodiesel berbasis WCO dengan hydrodynamic cavitation menghasilkan net annualized cost sebesar 2,714 (kUSD/year), revenue 5,133 (USD/year), net profit sebesar 2,416.64 (\$/year), PBP 2—3 years, dan ROI sebesar 94.41% (Innocenzi and Prisciandaro, 2021). Penelitian yang juga dilakukan oleh Imam Ahmad, et al., (2015) yang melakukan studi kelayakan menggunakan Anfis menunjukkan bahwa industry biodiesel berbasis WCO yang diasumsikan proyek berumur 10 tahun sangat layak untuk diwujudkan dan dikembangkan dengan tingkat sensitivitas penurunan harga sebesar 24% dan kenaikan harga sebesar 57% (Ahmad et al., 2015). Penelitian lain yang dilakukan oleh Khaled Al-attab, et al., (2017) yang melakukan a techno economic investigation terhadap produksi biodiesel berbasis WCO dengan kapasitas 2,000 liter/day (560 ton/year) menunjukkan bahwa proses produksi tersebut sangat menjanjikan dengan

asumsi harga jual biodiesel sebesar 0.62 USD/liter. Annual net revenue income sebesar 19,200 US\$ dengan payback period sekitar 4.3 tahun (Al-attab et al., 2017).

Berdasarkan data dan hasil penelitian-penelitian yang sudah dilakukan oleh banyak peneliti menunjukkan bahwa secara ekonomi produksi bioenergy berbasis WCO sangat potensial dan feasible dibandingkan dengan biodiesel dari minyak bumi maupun dari edible plant and non-edible plant. Harga bahan baku WCO harganya 2-3 kali lebih murah dibandingkan dengan minyak murni, sehingga dapat mengurangi total biaya produksi secara signifikan (Duti et al., 2016, Sharma et al., 2021). Analisa ekonomi lainnya menunjukkan bahwa produksi biodiesel berbasis WCO menggunakan Aspen Process Economic Analyzre di Pakistan menghasilkan bahwa harga biodiesel WCO jauh lebih murah sebesar 0.66 USD/liter dibandingkan dengan petroleum derived diesel sebesar 0.99 USD/liter (Khan et al., 2019). Biodiesel berbasis WCO di Belanda yang diproduksi menggunakan metode supercritical transesterification secara evaluasi ekonomi dapat dijual dengan harga 0.17 USD/liter bila diproduksi dari pabrik dengan kapasitas 125.000 ton/tahun (Van Kasteren and Nisworo, 2007). Pemanfaatan WCO sebagai limbah untuk memproduksi bioenergy jauh lebih efektif dan murah dibandingkan dengan bioenergy berbasis edible plant and non-edible plant yang membutuhkan lahan yang luas dan waktu yang cukup lama untuk budidaya tanaman yang menimbulkan permasalahan pada ketahanan pangan (Arif et al., 2020, Sharma et al., 2021).

c. Social Life Cycle Assessment (SLCA) for Biodiesel Production

Analisis SLCA terhadap produksi bioenergi dari WCO belum pernah dilakukan oleh para peneliti. Penelitian yang dilakukan oleh Elisabeth Vinyes et al., (2013) hanya melakukan kajian aplikasi LCSA terhadap sistem proses pengumpulan WCO yang dilakukan secara door to door, di sekolah, dan urban collection center. Berdasarkan penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem pengumpulan WCO melalui door to door lebih banyak manfaat secara sosial dibandingkan dengan melalui sekolah dan urban collection center. Hal tersebut disebabkan sistem door to door mampu menghasilkan pekerja sebanyak 55 orang, berkontribusi terhadap kesempatan kerja untuk penyandang disabilitas sebesar 33%, dan berkontribusi terhadap edukasi lingkungan pada anak-anak sebesar 17% (Vinyes et al., 2013).

Penelitian yang dilakukan oleh Laura C. Casas, et al., (2023) yang melakukan kajian SLCA terhadap valorization scheme of WCO di Colombia. Aspek-aspek sosial yang dibahas dalam penelitian ini, antara lain labor conditions, work safety, social acceptance, governmental framework, and land use change. Labor condition, di Industri biodiesel berbasis WCO, proses pengumpulan WCO dan pretreatment dilakukan oleh oleh agen-agen yang dipekerjakan oleh industri secara legal. Namun, terdapat resiko terhadap tenaga kerja yang disebabkan oleh adanya pasar ilegal untuk mengumpulkan WCO dan melakukan pengelolaan secara sederhana untuk menjualnya sebagai minyak baru untuk keperluan pangan/pakan. Work safety, Produksi bioenergy berbasis WCO melibatkan proses penyimpanan dan penanganan dari beberapa zat yang berbahaya yang dapat menimbulkan resiko yang berbahaya jika tidak ditangani dengan baik. Ada beberapa kejadian yang menyebabkan insiden terhadap pekerja yang sering terjadi di industri, seperti kebakaran dan ledakan. Oleh karena itu, dibutuhkan sumber daya manusia yang ahli dan teknologi yang aman untuk mencegah insiden terhadap pekerja. Social acceptance, secara umum, sikap masyarakat terhadap volarisasi WCO sangat mendukung karena dapat mengurangi tekanan ekologis dari limbah WCO dengan mengubahnya menjadi produk yang bermanfaat dalam kerangka ekonomi sirkular. Akan tetapi, tingkat keterlibatan masyarakat masih rendah sehingga proses pengumpulan, penyimpanan, dan pengangkutan ke tempat pembuangan yang layak tidak optimal. Sehingga perlu dilakukan edukasi supaya partisipasi masyarakat dapat meningkat. Governmental framework, meskipun terdapat kerangka hukum yang memungkinkan valorisasi WCO untuk memproduksi biodiesel, dan kebijakan publik nasional lainnya tentang produksi yang berkelanjutan dan konsumsi untuk mendorong pengelolaan yang terpadu dari edible vegetable oils value chain, tetapi upaya untuk mendorong strategi pengelolaan WCO yang memadai dan efektif belum optimal. Berbeda jika dibandingkan dengan biodiesel berbasis minyak sawit yang memiliki undang-undang dan regulasi yang komplit sehingga dapat mengatur produksi biodiesel sawit dan turunannya. Land use change, land use change tidak berkaitan secara langsung terhadap valorisasi WCO, karena tidak membutuhkan lahan yang luas seperti edible plant and non-edible plant. Akan tetapi, proses pendirian industry bioenergy berbasis WCO memiliki potensi yang dapat menyebabkan konflik sosial jika tidak diurus dan dikontrol dengan baik (Casas et al., 2023).

Aspek-aspek sosial yang sudah dibahas tersebut harus dibuat perencanaan yang baik sehingga proses bisnis dan produksi dari industry bioenergy berbasis WCO dapat berjalan dengan baik, aman, tidak ada pihak yang dirugikan, melibatkan seluruh stakeholders terkait, memanfaatkan ekonomi sirkular, dan berkelanjutan.

6.3. Challenges, Development, and Recommendation of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production

a. Challenges of Waste Cooking Oil for Bioenergi Production

Proses produksi bioenergy dari WCO tentunya memiliki banyak tantangan. Tantangan tersebut terdiri dari berbagai aspek, antara lain proses produksi, aspek ekonomi, aspek sosial, aspek lingkungan, dan aspek regulasi. Uraian dan penjelasan dari berbagai tantangan tersebut akan disajikan berikut ini.

1) Proses produksi

Dalam melakukan proses produksi bioenergy dengan berbahan baku WCO tentunya memiliki tantangan yang berbeda-beda pada setiap produk yang ingin dihasilkan, seperti proses produksi yang rumit, rendahnya recovery rate WCO, dan tingginya standar permintaan WCO sebagai bahan baku (Liu et al., 2018). Selain itu, biaya konversi yang relatif tinggi karena variabilitas komposisi, kontaminasi dan perlunya proses pemurnian serta transesterifikasi yang efisien (Dubey and Avinash, 2024). Tantangan lain yang dihadapi dalam proses produksi Bioenergy dari WCO, yaitu penggunaan katalis. Jenis katalis dan konsentrasi yang digunakan sangat penting dalam proses transesterifikasi dan dapat mempengaruhi biodiesel yield. Penggunaan katalis apapun jenisnya dapat mempercepat reaksi dengan mengurangi reaksi energi aktivasi (Suzihaque et al., 2022). Selama ini katalis yang digunakan industri di Indonesia umumnya adalah katalis impor yang harganya relatif tinggi, Oleh karena itu, produksi katalis dalam negeri harus dikembangkan lebih banyak untuk mensubstitusi katalis impor, biaya yang relatif murah, dan juga yang lebih ramah lingkungan.

Tantangan berikutnya yang dihadapi adalah dari supply bahan baku WCO yang belum optimal yang disebabkan oleh adanya kompetisi dengan pengepul WCO yang berorientasi ekspor. Hal tersebut disebabkan karena eksportir menawarkan harga lebih tinggi, sehingga supply WCO dalam negeri berkurang (De Feo et al., 2020). WCO sebagai

rantai pasokan bahan baku belum berkembang, dan saat ini, tidak ada sistem pengumpulan WCO di tingkat nasional atau regional, sehingga kurangnya kuantitas minyak jelantah yang terkumpul (Kharina et al., 2018). Risiko desain rantai pasokan menduduki peringkat tertinggi karena metodologi pengolahan WCO menjadi Biodiesel saat ini tidak optimal (Jachryandestama et al., 2021). Tempat-tempat yang menjadi objek pengumpulan WCO, seperti food industry, restaurant, small medium enterprises, hotel, household, hospital, and school biasanya memiliki kontrak dengan sebuah pengepul yang belum diketahui dengan pasti kemana WCO yang dikumpulkan apakah diekspor atau diolah kembali di dalam negeri.

Dalam membuat perancangan industri pengolahan WCO harus memiliki syarat-syarat dan standar tertentu yang harus dipenuhi oleh calon industri. Salah satunya adalah standar kapasitas produksi yang harus dipenuhi agar kelayakan ekonomi dari industri ini bisa tercapai. Salah satu industri pengolah WCO yang ada di Indonesia memiliki kapasitas produksi biodiesel 1.000 liters/batch. Kesulitan yang dihadapi industri dalam memenuhi standar kapasitas produksi antara lain juga dalam hal proses pemasaran, karena masih bersaing dengan produk yang berbasis CPO dan regulasi yang belum diatur.

2) Aspek ekonomi

Di Indonesia, pengolahan WCO menjadi biodiesel sudah banyak dilakukan, antara lain oleh PT Bali Hijau Biodiesel, CV Artha Metro Oil, Gen Oil Makassar, dan Badan Usaha Milik Desa Panggung Lestari Bantul. Namun yang sampai saat ini masih beroperasi melakukan pengolahan WCO menjadi biodiesel adalah PT. Bali Hijau Biodiesel dan Gen Oil Makasar (Kristiana et al., 2022). Hasil penelusuran yang dilakukan menunjukkan bahwa berhentinya proses produksi biodiesel dari beberapa perusahaan tersebut karena harga WCO yang tidak ekonomis dan jumlah WCO yang terbatas.

Tantangan pada aspek ekonomi yang dihadapi pada Pengolahan WCO menjadi bioenergy adalah belum ada insentif ekonomi yang diberikan Pemerintah, sehingga tidak menjamin kestabilan biaya produksi bioenergy yang mengakibatkan belum mampu bersaing dengan sumber energi lain. Kecilnya pasar bioenergy dapat menjadi ancaman bagi perkembangan industry bioenergy di Indonesia (Liu et al., 2018). Indonesia belum mempunyai jaringan tata kelola WCO yang berkontribusi pada pembentukan inisiatif pengumpulan WCO dari sektor swasta, pemerintah dan program berbasis masyarakat (Perdana, 2021). Tantangan lainnya adalah nilai ekonomis dari industri pengolahan

WCO dapat dilihat dari break even point (BEP) yang harus dicapai, ataupun skala produksi yang harus dilakukan oleh industri untuk mendapatkan nilai terbaik dari sebuah investasi.

3) Aspek Sosial

Pemanfaatan WCO menjadi bioenergy tidak terlepas dari tantangan pada aspek sosial, meliputi kurangnya kepedulian masyarakat terhadap dampak lingkungan dari pembuangan WCO secara sembarangan, sehingga WCO yang dibuang ke saluran pembuangan dalam jumlah yang banyak sebagai limbah, ketidaktahuan masyarakat akan produk turunan yang dihasilkan dari pemanfaatan WCO, dan kurangnya kesadaran masyarakat terhadap penggunaan WCO berulang yang berbahaya untuk kesehatan (Kumara, 2020). Minyak goreng yang digunakan lebih dari 2 kali penggorengan sudah tidak layak digunakan kembali untuk keperluan memasak. Karena proses pemanasan minyak goreng yang lama ataupun berulang akan menyebabkan oksidasi dan polimerisasi asam lemak yang menghasilkan radikal bebas senyawa peroksida yang bersifat toksik bagi sel tubuh. Syarat mutu bilangan peroksida minyak goreng menurut standar nasional Indonesia (SNI). 01-3741-2002 maksimal 10 meq/1 kg minyak. Sementara penggunaan minyak goreng berulang dalam rumah tangga memiliki bilangan peroksida 20-40 meq/kg (Aziz et al., 2018).

4) Aspek Lingkungan

Aspek utama yang menjadi isu saat ini adalah aspek lingkungan, salah satu upaya untuk menjaga lingkungan adalah dengan memanfaatkan WCO menjadi bioenergy. kelestarian lingkungan sebagai kriteria evaluasi yang paling penting, diikuti oleh kriteria ekonomi menjadi salah satu tujuan dari penilaian berkelanjutan. Penilaian berkelanjutan salah satunya dengan menggunakan metode LCA dan diperoleh hasil bahwa kategori yang memberikan kontribusi terbesar terhadap emisi yang dihasilkan dalam proses produksi bioenergy berbasis WCO adalah tahap pengumpulan dengan kontribusi sebesar 92.10%, hal ini menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap tahap produksi yang memberikan kontribusi sebesar 7.9% (Moecke et al., 2016).

Pembuangan WCO secara sembarangan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Lebih dari 58% rumah tangga membuang WCO di tempat pembuangan sampah kota, di selokan, atau di tanah (Febijanto et al., 2023). Hal ini merupakan tantangan yang harus dihadapi dari sisi lingkungan dan aspek sosial, karena pembuangan

WCO sembarangan berhubungan dengan edukasi masyarakat akan pentingnya menjaga lingkungan.

5) Aspek Regulasi

Saat ini Pemerintah Indonesia belum memiliki Peraturan yang menangani tata kelola dan tata niaga WCO menjadi bioenergy. Tata kelola tersebut meliputi: pemenuhan ketersediaan bahan baku, jaminan dan dukungan untuk proses industri, serta kepastian harga jual WCO. Sedangkan tata niaga meliputi: Pembatasan kuota ekspor WCO, jaminan produk tersedia dengan kepastian harga yang terjangkau. Karena ketersediaan WCO dan pembatasan ekspor WCO saling berkaitan maka perlu diatur lebih lanjut. Sebagai dampak dari tidak adanya sinkronisasi tata kelola pemenuhan bahan baku dan pembatasan kuota ekspor, maka potensi WCO yang ada lebih banyak diekspor keluar negeri dan tidak dimanfaatkan di dalam negeri.

Selain itu beberapa Pemerintah daerah telah melakukan inisiasi awal dalam hal pemanfaatan WCO menjadi bioenergy. Saat ini hanya 3 daerah yang menunjukkan kepedulian Pemerintah terhadap pengumpulan WCO. DKI Jakarta mengeluarkan Peraturan Gubernur No.167 Tahun 2016 Tentang Pengelolaan Limbah Minyak Goreng, yang mengatur tentang kewajiban dari penghasil, pengumpul, dan pemanfaat/pengolah minyak jelantah. Namun demikian, Peraturan Gubernur ini baru mengatur WCO yang berasal dari HORECA (Hotel, Restaurant, dan Catering/Industri Makanan). Hal ini mengakibatkan potensi minyak jelantah yang ada tidak termanfaatkan dengan baik di dalam negeri.

Pemerintah Kota Bogor, Perusahaan Daerah Jasa Transportasi (PDJT) bersama Manajemen Lingkungan Kota Bogor berkolaborasi memanfaatkan minyak jelantah yang kemudian diproduksi jadi bioenergy sebagai campuran bahan bakar Bus Trans Pakuan untuk rute dalam kota Bogor, dari tahun 2015-2018. Namun sayangnya kemudian program ini terhenti akibat dari kesulitan yang dihadapi oleh BPLH (Badan Pengelola Lingkungan Hidup) untuk mendapatkan bahan baku dengan harga yang terjangkau dan memenuhi standar. Hasil kajian International Council of Clean Transportation (ICCT) menyatakan minyak WCO yang dikumpulkan dari berbagai sumber tidak terjamin kualitasnya dan mengandung Free Fatty Acid (FFA) yang tinggi (Kristiana et al., 2022).

Sementara di Bali, dirintis oleh Caritas Switzerland, yaitu lembaga bantuan sosial global dari Swiss yang bekerja sama dengan pemerintah kota Denpasar, bekerja

sama dengan Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia (MoU ditandatangani pada 26 Juli 2010 dan ammended pada tanggal 7 Juni 2011), dengan Kota Denpasar dan Otoritas Lingkungan Denpasar (Perjanjian Kerjasama No.193/01 / PKS/BKS/2012, ada 069/CACH-BALI/VI/201), mengembangkan proyek daur ulang WCO menjadi bioenergy-biodiesel. Usaha ini masih bertahan, walaupun menghadapi kesulitan dalam mendapatkan bahan baku yang terjangkau dan menghadapi persaingan dengan pasar, khususnya persaingan dengan harga bioenergy-CPO.

b. Development of Waste Cooking Oil for Bioenergi Production

Proses pengembangan bioenergy dari WCO tentunya dapat dilakukan dari berbagai aspek dan tahapan. Hal tersebut dapat dilakukan, antara lain melalui proses produksi, aspek ekonomi, aspek sosial, aspek Lingkungan, dan aspek regulasi. Uraian dan penjelasan dari berbagai proses pengembangan tersebut akan disajikan berikut ini.

1) Proses produksi

Pengembangan pemanfaatan WCO menjadi bioenergy sudah dilakukan oleh beberapa negara yang bertujuan untuk mengurangi pembuangan WCO sebagai limbah di lingkungan dengan memanfaatkannya menjadi bioenergy. Penerapan sistem manajemen yang mencakup prosedur pengolahan WCO menjadi bioenergy yang meliputi supply WCO dari proses pengumpulan, proses pretreatment, proses pengolahan WCO menjadi bioenergy, hingga proses pemasaran produk bioenergy yang dihasilkan perlu dilakukan penyesuaian.

✓ Tahap pengumpulan

Total *Vegetable Oil Consumption* (TVOC) menyatakan bahwa total konsumsi minyak goreng di Indonesia adalah sebesar 20.20×10^6 ton pada periode 2019-2021 (Febijanto et al., 2023). Penelitian lain menunjukkan perkiraan produksi WCO di Indonesia berdasarkan TVOC sebesar 6.47×10^6 ton (Teixeira et al., 2018), $2.28 - 5.13 \times 10^6$ ton (Sheinbaum-Pardo et al., 2013), 3.74×10^6 ton (TNP2K, 2020), dan 0.72×10^6 ton (Kristiana et al., 2022). Hasil kajian Tim Nasional Percepatan Penanggulangan Kemiskinan (TNP2K) dan Traction Energy Asia menunjukkan bahwa potensi WCO yang dihasilkan di Indonesia sekitar 40% - 60% dari total konsumsi minyak goreng sawit

setiap tahunnya, tetapi hanya sekitar 18.5% saja yang dapat dikumpulkan, yaitu setara dengan 3.74×10^6 ton (TNP2K, 2020). Dari data tersebut dapat diketahui bahwa potensi WCO yang ada belum sepenuhnya dimanfaatkan untuk bahan baku bioenergy, sehingga masih dibutuhkan usaha yang serius untuk tata kelola proses pengumpulan WCO dan kemudian dilakukan proses riset serta pengembangan yang detail dan mendalam untuk pemanfaatan WCO sebagai bahan baku bioenergy. Untuk membangun sistem pengumpulan WCO yang berkelanjutan, dapat dilakukan dengan kegiatan pengabdian kepada masyarakat dalam lima tahap: tahap partnership, tahap perencanaan prosedur, tahap sosialisasi, tahap monitoring dan evaluasi (Gkouskos et al., 2018).

Di kota Suzhou, China, desain rantai pasok WCO sebagai bahan baku bioenergy dengan asumsi umum bahwa pengumpulan dilakukan pada HORECA, kemudian mengolahnya pada fasilitas pengolahan (refinery), dan mendefinisikan tiga pemangku kepentingan dalam rantai pasok WCO, yakni: (1) pemasok WCO, (2) bio-refinery terintegrasi, dan (3) zona permintaan/konsumen. Selain itu, juga merumuskan tiga permasalahan utama yang perlu diselesaikan guna mendapatkan rantai pasok yang optimal, yakni: (1) jumlah, ukuran, dan lokasi bio-refinery, (2) tempat dan jumlah pengumpul WCO, (3) rencana rute transportasi WCO dan bioenergy (Zhang and Jiang, 2017). Jadi dengan mengembangkan konsep berkelanjutan dan ekonomi sirkular diharapkan dapat menghasilkan suatu solusi yang mampu mengatasi permasalahan lingkungan sosial dan ekonomi dari keberadaan WCO. Solusi ini dapat berupa pengembangan *supply* dan *value chain* dari pemanfaatan WCO menjadi bioenergy.

✓ Proses Pengolahan WCO Menjadi Bioenergy.

Salah satu tantangan yang dihadapi dalam proses pengolahan WCO menjadi bioenergy adalah katalis yang masih tergantung pada katalis impor. Katalis merupakan komponen produksi yang memberikan dampak yang signifikan terhadap biaya proses produksi, karena katalis merupakan bahan yang menjadi kunci proses kimia untuk menghasilkan produk kimia dan energi. Oleh karena itu pengembangan katalis untuk proses WCO menjadi bioenergi, yang dapat menggantikan katalis impor sangat dibutuhkan. Seperti halnya beberapa katalis minyak sawit yang telah dikembangkan oleh para peneliti ITB dan telah disuling oleh Pertamina di beberapa Kilangnya, diantaranya

Katalis Merah Putih yang diharapkan dapat dikembangkan pula untuk WCO (Paspri, 2020).

✓ Pemasaran Produk Bioenergy

Penggunaan biodiesel berbahan baku WCO telah digunakan di beberapa daerah di Indonesia. Biodiesel-WCO yang diproduksi oleh PT Lengis Hijau di Bali digunakan sebagai bahan bakar untuk boiler pada beberapa hotel dan resort. Sementara di Kota Bogor Biodiesel-WCO digunakan sebagai bahan bakar transportasi massal kota dan kendaraan operasional Pemda (Febijanto et al., 2023). Di Makassar, Gen Oil mengubah minyak jelantah menjadi biodiesel untuk didistribusikan ke nelayan di pelabuhan Paotere sebagai alternatif bahan bakar perahu selain solar.

2) Aspek ekonomi

Yong et al., (2016) memaparkan bahwa untuk mendapatkan fungsi ekonomi dari bio-refinery pengolahan WCO menjadi biodiesel dibutuhkan insentif dari Pemerintah. Model pemberian insentif ini diterapkan pada model Rantai Pasok yang ada, seperti yang diterapkan di kota Suzhou, China. Besarnya insentif dinyatakan dalam rumusan. Dalam penelitian Yong, et al., (2016), merumuskan optimalisasi tata kelola rantai pasok di tengah ketidakpastian harga biodiesel ditentukan antara lain oleh : (a) distribusi geografis dari pemasok WCO, zona permintaan, dan kandidat bio-refinery, (b) ketidakpastian harga biodiesel, (c) biaya pre-treatment dan produksi WCO, (d) biaya transportasi untuk WCO dan biodiesel, (e) biaya modal untuk bio-refinery dengan skala yang berbeda, (f) biaya modal untuk teknologi yang berbeda, (g) harga pasar biodiesel, (h) biaya konversi pada pengolahan biodiesel (Zhang and Jiang, 2017). Pendekatan handal yang merupakan integrasi pemodelan dengan pemrograman linear diusulkan dengan multi tujuan (ekonomi, sosial, dan lingkungan) untuk menentukan proses pengambilan keputusan strategis dan taktis dengan tujuan memaksimalkan keuntungan, meminimalkan emisi karbon, dan meminimalkan limbah dapur yang tidak dapat digunakan kembali. Studi literatur menyatakan bahwa untuk mencapai nilai ekonomis suatu industri pengolahan WCO maka dibutuhkan kapasitas produksi sebesar 20.000 liters/year, sehingga industri tersebut layak untuk dikembangkan.

Analisis yang pernah dilakukan pada industri bioenergi berbasis WCO tahun 2011 dari sisi keekonomian, adalah bahwa kelayakan dapat dicapai jika bioenergy

berbasis WCO ini diproduksi dengan skala yang cukup besar (Widodo, 2011). Penelitian yang dilakukan pada PT Bali Hijau Biodiesel menunjukkan bahwa perusahaan akan mencapai titik impas bila dapat menjual produk sebanyak 108.269 liter/tahun dengan harga jual senilai Rp. 14.000 per liter. Sementara penelitian yang dilakukan di Jinlihai Biodiesel Co. Ltd., salah satu produsen biodiesel terbesar (kapasitas produksi 100.000 ton/year) di Cina, menunjukkan bahwa untuk mendapatkan kapasitas produksi yang optimal agar industri biodiesel berbasis WCO dikatakan layak, adalah sebesar WCO 40.000 ton/tahun (Fauziah, 2020).

3) Aspek Sosial

Untuk pengembangan aspek sosial dari pengolahan WCO menjadi bioenergy perlu digalakkan edukasi ke masyarakat mengenai bahaya penggunaan kembali WCO terhadap kesehatan dan lingkungan. Menggunakan minyak goreng berulang kali dapat menyebabkan efek negatif pada kesehatan masyarakat. Minyak goreng yang telah terpakai mengalami proses oksidasi. Oksidasi menghasilkan serangkaian perubahan pada minyak yang tidak diinginkan, pembentukan free fatty acids (FFA), pembentukan senyawa beracun, kehilangan nutrisi serta menimbulkan aroma dan rasa yang tidak sedap. Makanan yang telah mengalami oksidasi kemungkinan tidak dapat untuk dirasakan oleh indera mengecap dikarenakan proses tersebut menghasilkan senyawa dengan aroma dan rasa yang tidak sedap seperti conjugated dienes (CD), aldehida, peroksida, dan senyawa lainnya.

Penggunaan jangka panjang pada minyak goreng yang teroksidasi meningkatkan resiko dari berbagai penyakit seperti jantung koroner, kanker, kerusakan sel, meningkatkan peradangan dan keracunan (Zahid et al., 2024). Karena secara umum masyarakat sebenarnya mengerti akan bahaya penggunaan kembali WCO berulang, akan tetapi pada prakteknya tetap menggunakan kembali WCO tersebut (Deshmukh, 2019). Selain itu diperlukan komitmen dari Pemerintah Pusat, Pemerintah Daerah, Pengumpul, Pengusaha Horeca dan Masyarakat dalam mewujudkan kepedulian terhadap penanganan WCO di masyarakat.

Pengenalan produk turunan dari pengolahan WCO yang pengolahannya cukup sederhana dan dapat dimanfaatkan sendiri maupun dapat dipasarkan juga dapat membantu mengurangi dampak negatif penggunaan WCO. Pengolahan WCO ini dapat dilakukan secara mandiri dengan pelatihan yang diberikan oleh Tim penggerak ataupun

Lembaga Swadaya Masyarakat yang terkait. Adapun produk tersebut dapat berupa lilin aromaterapi, sabun, dll. Dengan berkembangnya sistem pengumpulan dan pemasaran WCO diharapkan akan dapat bermanfaat bagi masyarakat sekitar dalam hal menambahkan penghasilan rumah tangga dan meningkatkan hubungan antar warga masyarakat melalui kerjasama pengumpulan WCO ini.

4) Aspek Lingkungan

Aspek lingkungan yang perlu untuk dikembangkan kedepannya adalah penanganan WCO yang selama ini dibuang secara sembarangan ke saluran pembuangan. Kesadaran masyarakat sebenarnya sudah mengetahui cara menangani limbah WCO dengan baik, akan tetapi dalam prakteknya masyarakat tidak konsisten bahkan tidak menerapkan penanganan WCO yang telah dipelajarinya tersebut (Kumara, 2020).

Terkait transportasi dalam pengumpulan WCO dan dampak lingkungannya dari emisi yang dihasilkan berkaitan dengan titik pengumpulan WCO yang ada, sehingga jika semakin banyak titik pengumpulan maka dampak lingkungan yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal tersebut dikarenakan kendaraan operasional akan semakin sering berkeliling untuk menjemput WCO dari titik pengumpulan. Pengembangan yang dapat dilakukan adalah dengan menentukan titik pengumpulan berantai dari masyarakat mulai dari level pengepul kecil, menengah dan besar sehingga Industri dapat menjemput WCO dengan jadwal yang telah disepakati bersama.

5) Aspek Regulasi

Pengembangan yang dapat dilakukan dari sisi regulasi adalah dengan penerbitan peraturan tata kelola dalam pengelolaan WCO dengan ruang lingkup yang lebih luas, karena aturan yang ada selama ini masih bersifat lokal. Aturan yang bersifat lokal ini berlaku hanya untuk daerah yang mengeluarkan peraturan tersebut, sedangkan daerah lain yang memiliki potensi WCO dan tidak memiliki aturan atau pedoman tidak dapat mengoptimalkan pengumpulan dan pengelolaan WCO. Hal tersebut dikarenakan masyarakat merasa tidak diwajibkan untuk melaksanakan aturan.

Selain membuat peraturan, Pemerintah juga diharapkan dapat melakukan koordinasi dan pengawasan terhadap proses tata kelola WCO yang diharapkan dapat mendorong pemanfaatan WCO sebagai bahan baku bioenergy. Tata niaga berbasis WCO yang optimal dapat menjaga kestabilan supply chain, produksi dan pemasaran produk berbasis WCO.

c. Recommendation of Waste Cooking Oil for Bioenergi Production

Ada beberapa rekomendasi yang bisa dilakukan untuk mengembangkan WCO untuk memproduksi bioenergy, yaitu perlu adanya komitmen politik dari negara (pemerintah) yang menempatkan minyak jelantah sebagai feedstock sumber energi nasional; sanggup bekerjasama dengan stakeholder terkait dari sisi bahan baku, industri, lingkungan, pasar dan teknologi; bekerja sama dengan berbagai stakeholder penghasil minyak goreng bekas dalam jumlah banyak. Hal lain yang bisa dilakukan, yaitu menguasai pasar hasil olahan bioenergy, melakukan edukasi kepada masyarakat mengenai bahaya penggunaan kembali WCO dan manfaat WCO sebagai sumber energi terbarukan juga diperlukan, terwujudnya kebijakan nasional pemanfaatan WCO sebagai bahan baku bahan bakar biodiesel akan mendorong koleksi WCO nasional yang berkelanjutan. Kebijakan ini sekaligus mencegah dampak negatif penggunaan kembali WCO dan pembuangan langsung WCO ke lingkungan. Menaikkan nilai WCO menjadi biodiesel akan mendorong penciptaan lapangan kerja dan meningkatkan perekonomian dan ketahanan energi. Terakhir yang penting juga, yaitu melakukan research, development, dan proses optimasi secara terus menerus terhadap seluruh rangkaian proses produksi bioenergy berbasis WCO untuk mendapatkan hasil yang optimum dan efisien baik dari aspek lingkungan, ekonomi, dan sosialnya, sehingga industry bioenergy berbasis WCO yang diharapkan bisa ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan

6.4. Industrial Potential of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production

Bioenergi sangat banyak manfaatnya dan akan berkontribusi pada transformasi energi dengan berbagai cara seiring transisi energi ke sistem energi masa depan yang berkelanjutan dan efisien. Bioenergi tidak hanya menawarkan solusi cepat untuk mensubsitisi bahan bakar fosil dari infrastruktur dan transportasi yang ada, serta dapat mendukung ekosistem, menciptakan manfaat sosio-ekonomi, dan menstabilkan sistem energi dalam masa transisi (Bacovsky, 2023). Prospek pengembangan Industri Biodiesel Indonesia dapat berjalan lancar apabila prosesnya didukung oleh tiga aspek penting, yaitu aspek bahan baku untuk produksi, pasar untuk menjual produk biodiesel, dan kebijakan untuk pengembangan industri biodiesel di Indonesia. Saat ini, produsen biodiesel WCO tidak berpartisipasi dalam program biodiesel nasional. Sementara WCO dimasukkan

secara terbatas dalam program dari 2014-2018. Sehingga penggunaannya berakhir karena pasokan bahan baku yang terbatas dan biaya produksi biodiesel WCO yang tinggi.

Program biodiesel di Indonesia saat ini menggunakan bahan baku tunggal, yaitu CPO, meskipun ketersediaan WCO melimpah dan harganya di Indonesia rendah. Indonesia dapat mengumpulkan hingga 715 kiloton WCO yang dapat digunakan untuk memproduksi 651 kiloton biodiesel. Pemerintah Indonesia khususnya Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral seharusnya mempertimbangkan untuk memasukkan WCO dalam daftar bahan baku alternatif dalam program biodiesel saat ini (Kristiana and Baldino, 2021). Hasil Analisis SWOT terhadap produksi bioenergy dari minyak jelantan dengan mengambil obyek dari berbagai negara menghasilkan kesimpulan, bahwa analisis Kekuatan terhadap pemanfaatn WCO untuk bioenergy dapat menjamin ketahanan pangan, ketahanan energi, dan dampak positif terhadap lingkungan serta menawarkan lapangan kerja langsung dan tidak langsung, dan analisis Peluangnya menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan dari WCO mampu meningkatkan kepedulian terhadap perlindungan lingkungan dan kebutuhan energi terbarukan. Selain itu, pemerintah harus membuat undang-undang dan peraturan untuk mendukung perkembangan biodiesel berbasis WCO (Liu et al., 2018).

Kajian daur hidup produksi bioenergy dari WCO suatu pabrik di Brasil bahwa keberadaan pabrik mampu memberikan manfaat lingkungan, sosial dan ekonomi bagi masyarakat, meningkatkan pendapatan bagi para pekerja dan nelayan, pendidikan lingkungan hidup di sekolah, dan peluang daur ulang WCO. Selain itu juga memiliki keunggulan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah. Pencampuran biodiesel WCO bisa digunakan untuk mengakomodasi bahan bakar untuk kapal yang dapat mengurangi emisi sebesar 11% dibandingkan bahan bakar fosil (Osipova et al., 2023).

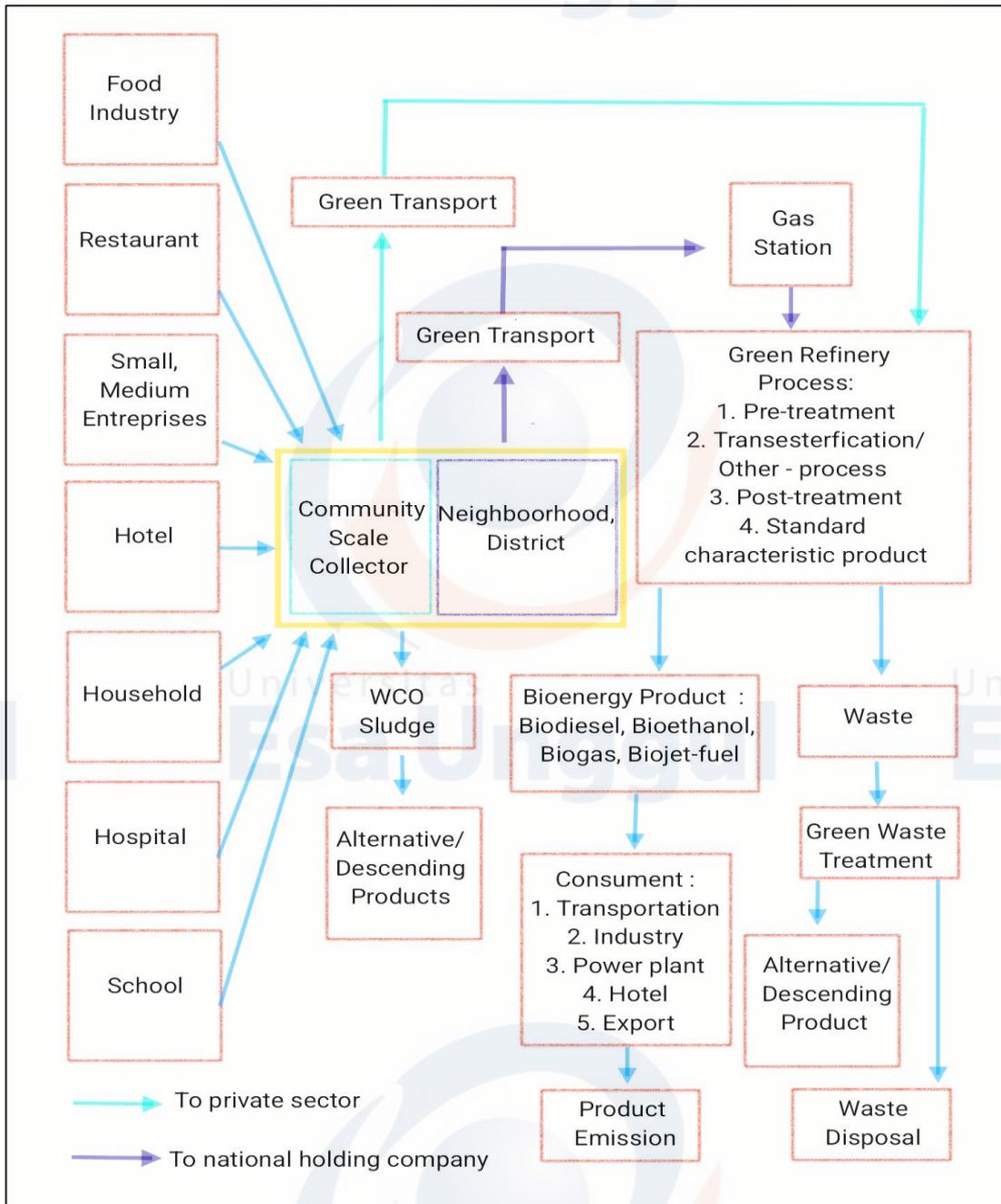
Gambar 8 menunjukkan proses flowchart dari proses pengumpulan WCO, proses produksi bioenergy (biodiesel, bioethanol, biogas, and biojet fuel), hingga proses waste treatment yang dapat menghasilkan produk turunan. Flowchart ini bisa menjadi salah satu alternatif yang dapat diusahakan oleh private sector dan national holding company untuk mengembangkan industry bioenergy berbasis WCO. Proses pengumpulan WCO menjadi salah satu faktor yang sangat penting dalam menjamin ketersediaan bahan baku untuk mendukung industry bioenergy berbasis WCO yang stabil

dan berkelanjutan. Oleh sebab itu, pemetaan objek-objek yang menjadi pusat pengumpulan WCO harus menjadi perhatian utama, seperti food industry, restaurant, small medium enterprises, hotel, household, hospital, and school. Private sector dan national holding company yang mengembangkan industry bioenergy berbasis WCO harus mengajak kerja sama dan memberikan edukasi terhadap objek-objek yang menjadi pusat pengumpulan WCO terkait dampak lingkungan terhadap pembuangan WCO secara sembarangan, dampak kesehatan terhadap pemakaian WCO secara berulang kali, dan manfaat pengolahan WCO sebagai bahan baku bioenergy yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Prinsip kerja sama antara industry bioenergy berbasis WCO dengan objek-objek yang menjadi pusat pengumpulan WCO harus berasaskan keadilan, memanfaatkan seluruh stakeholder yang ada sehingga dapat membuka lapangan pekerjaan yang meliputi community scale collector, neighborhood, dan district, dapat meningkatkan perekonomian masyarakat, ramah lingkungan, dan prinsip-prinsip sirkular ekonomi dapat berjalan dengan baik. Selain itu, industry bioenergy berbasis WCO harus menggunakan transportasi, proses refinery, waste treatment, dan seluruh proses sepanjang siklus hidupnya yang green energy, green material, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Di Indonesia sudah melakukan kajian yang mendalam terkait perbandingan GWP yang dihasilkan oleh biodiesel WCO dengan CPO. Hasil kajian menunjukkan bahwa produksi B30 yang memisahkan bahan baku CPO dan WCO sebagai penambahan feedstock biodiesel sebanyak 10-100%, Pemerintah Indonesia dapat menurunkan emisi sebesar 2.19—21.98 juta ton CO₂ eq atau sekitar 2.4—24% dari total target Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia dalam penurunan emisi pada tahun 2022. Sedangkan produksi biodiesel yang menyatukan bahan baku CPO dan WCO sebagai penambahan feedstock biodiesel sebanyak 10—30% dalam produksi B30, maka Pemerintah Indonesia dapat menurunkan emisi sebesar 7.32—21.98 juta ton CO₂ eq atau sekitar 8—24% dari total target Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia dalam penurunan emisi pada tahun 2022 (Widyarini, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Alan T.P. Samad, et al., (2018) yang melakukan analisis ekonomi terhadap portable biodiesel plant berbasis WCO di Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa portable biodiesel plant berbasis WCO dengan asumsi memproduksi 2,304 liter/day menghasilkan NPV 516,873.81 USD, IRR sebesar 18.4%, dan payback period sekitar 3

tahun dengan plant lifetime nya 20 tahun dan harga produk 0.847 USD/liter. Hasil analisis ekonomi tersebut merekomendasikan untuk portable biodiesel plant berbasis WCO untuk dibangun dan dikomersialisasikan di Indonesia (Samad et al., 2018). Data tersebut menunjukkan bahwa potensi industry bioenergy berbasis WCO di Indonesia sangat menjajikan dan dapat membantu memitigasi perubahan iklim dunia.



Gambar 8. Skenario flowchart dari proses pengumpulan WCO, proses produksi bioenergy hingga proses waste treatment dari industry bioenergy berbasis WCO yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

6.5. Sustainability Concept of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production

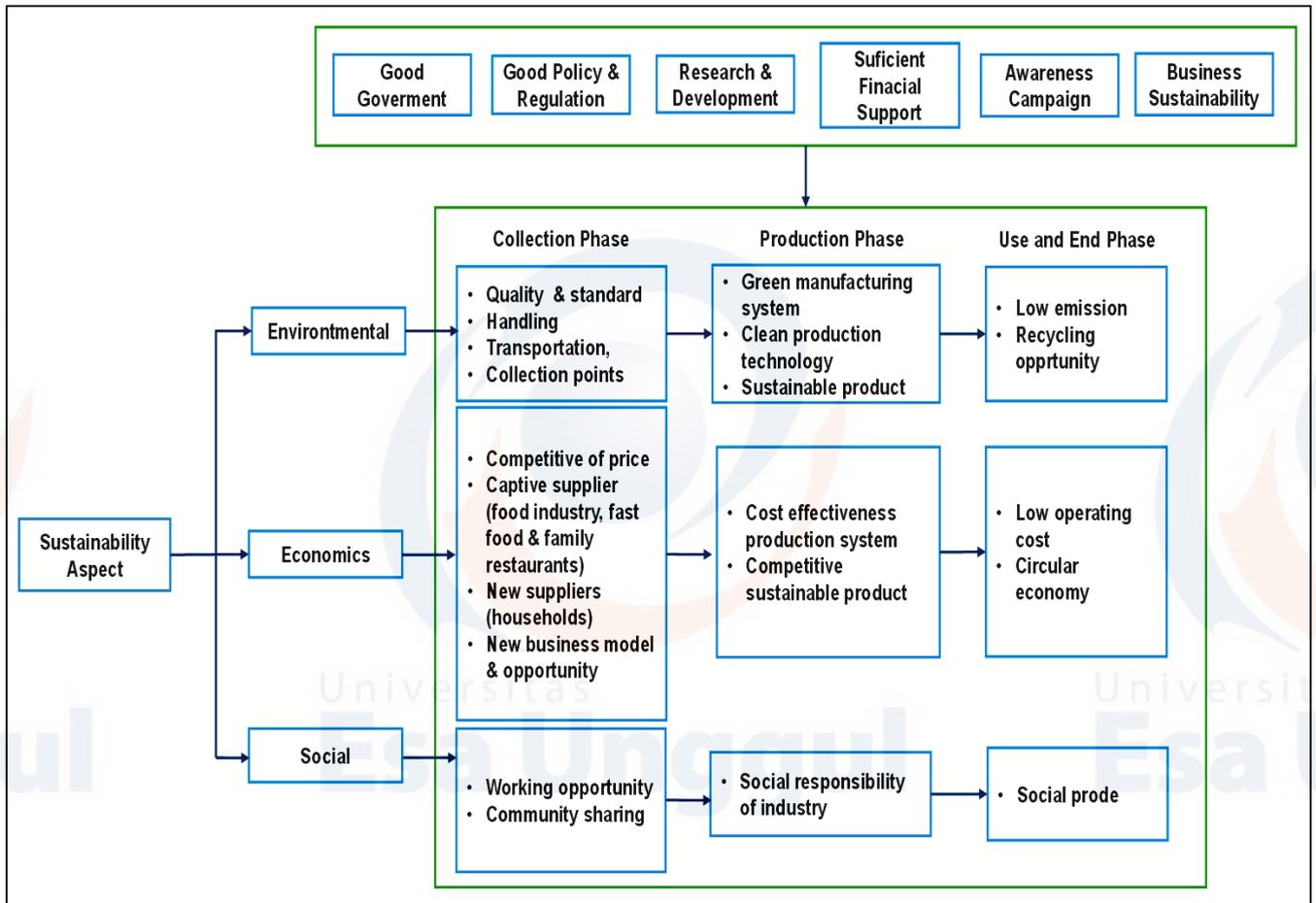
Produksi bioenergi dengan bahan baku WCO apabila dikelola dengan baik akan menjadi sebuah industri yang potensial di masa mendatang yang bisa menjadi alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan untuk moda transportasi maupun industri. Di Indonesia, potensi WCO apabila diolah dengan baik akan dapat memenuhi 32% kebutuhan biodiesel nasional. Memiliki peluang untuk dipasarkan di pasar domestik maupun ekspor, serta hemat biaya produksi 35% dibandingkan dengan biodiesel dari CPO (*crude palm oil*) serta mengurangi 91.7% emisi CO₂ dibanding solar (KESDM, 2021).

Penggunaan WCO sebagai bahan untuk diolah menjadi bioenergi di Indonesia masih dalam tahap awal, meskipun potensi WCO sangat besar. Hal ini ditandai dengan jumlah ekspor WCO yang semakin meningkat setiap tahunnya. Potensi berkembangnya industri pengolahan WCO menjadi bioenergi perlu dipersiapkan dalam kerangka meminimalkan dampak lingkungan, dengan mengadopsi konsep berkelanjutan (*sustainability concept*). Gambar 9 merupakan rangkuman konsep berkelanjutan pengolahan WCO untuk produksi bioenergi.

Konsep berkelanjutan terdiri dari tiga pilar, yaitu lingkungan, ekonomi dan sosial, yang secara paralel perlu menjadi pertimbangan utama dari setiap tahapan dalam proses produksi WCO menjadi bioenergi, *collection phase*, *production phase*, dan *use and end phase*. Pada *collection phase*, terkait aspek lingkungan, WCO harus dikumpulkan dengan cara yang memastikan kualitas, sistem penanganannya, transportasi, dan tempat pengumpulannya yang mudah di akses. Faktor-faktor tersebut harus terjaga standarnya agar dapat berkelanjutan. Terkait aspek ekonomi, harga bahan baku WCO harus diperoleh dengan harga yang kompetitif. Pemasok WCO perlu diperluas, dari pemasok besar saat ini seperti restoran, industri makanan, maupun pemasok potensial, yaitu rumah tangga yang jumlahnya jutaan. Secara ekonomi hal ini akan menjadi model dan peluang bisnis baru. Terkait aspek sosial, proses pengumpulan WCO ini diharapkan dapat membuka lapangan pekerjaan baru, dan pemberdayaan komunitas.

Pada *production phase*, terkait aspek lingkungan, proses produksi bioenergi dari WCO harus dilakukan dengan cara yang ramah lingkungan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi yang hemat energi dan meminimalkan emisi. Teknologi produksi yang bersih dan berkelanjutan harus digunakan untuk memastikan bahwa proses

konversi WCO menjadi bioenergi tidak berdampak negatif terhadap lingkungan, dan menghasilkan *sustainable product* yang handal. Terkait aspek ekonomi, dalam proses produksi harus memperhatikan efektifitas biaya, sehingga produk yang dihasilkan kompetitif dan dapat berkelanjutan. Terkait aspek sosial, proses produksi ini juga mempertimbangkan keterlibatan masyarakat sebagai bentuk tanggung jawab sosial industri.



Gambar 9. Sustainability Concept of Waste Cooking Oil for Bioenergy Production

Pada *use and end phase*, terkait aspek lingkungan, diharapkan bioenergi yang dihasilkan dari WCO harus memiliki emisi gas rumah kaca yang rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Hal ini penting untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Bioenergi yang dihasilkan dari WCO harus digunakan untuk menghasilkan produk-produk yang berkelanjutan, seperti listrik atau panas untuk rumah tangga dan industri. Sisa-sisa dari proses produksi bioenergi, seperti gliserin, harus diolah kembali atau didaur

ulang untuk meminimalkan limbah dan meningkatkan berkelanjutan proses. Terkait aspek ekonomi, penggunaan bioenergi dari WCO diharapkan akan menurunkan biaya operasi moda transportasi dan industri. Produksi bioenergi dari WCO dapat memberikan manfaat ekonomi yang signifikan, pengurangan impor bahan bakar fosil, dan peningkatan ketahanan energi yang berkelanjutan. Terkait aspek sosial, penggunaan bioenergi dari WCO akan menimbulkan rasa bangga kolektif bahwa sebagai bagian bangsa dan masyarakat dunia, bisa berkontribusi memanfaatkan WCO menjadi produk berkelanjutan yang berdaya guna tinggi.

Semua upaya melibatkan semua aspek dalam konsep berkelanjutan ini tidak akan berjalan apabila tidak didukung oleh peran semua pemangku kepentingan. Pemerintah perlu membuat regulasi dan tata kelola pasokan WCO dan industri pengolah WCO menjadi bioenergi yang baik, dengan didukung R & D yang implementatif, didukung pendanaan yang cukup, dan kampanye *awareness* betapa pentingnya mengolah kembali WCO menjadi bioenergi yang berpotensi bernilai ekonomi dalam bingkai ekonomi sirkular. Pemerintah juga perlu memperbaiki data WCO, potensi pengumpulan WCO, menyeimbangkan harga WCO untuk diproduksi di dalam negeri, agar tercipta bisnis WCO yang berkelanjutan di dalam negeri. Pada akhirnya, ekspor hanya untuk produk WCO yang sudah diolah menjadi bioenergi, bukan WCO untuk diolah di luar negeri.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kajian pada paper ini, dapat disimpulkan bahwa proses pengumpulan WCO, pretreatment dan transterifikasi merupakan tahapan yang menghasilkan dampak lingkungan terbesar dibandingkan dengan tahapan yang lain pada industry bioenergy berbasis WCO. Kategori dampak lingkungan terbesar antara lain, GWP, human toxicity, acidification potential, eutrophication potential, freshwater aquatic ecotoxicity, ozon layer depletion. Berdasarkan hasil LCCA menunjukkan bahwa secara ekonomi produksi bioenergy berbasis WCO sangat potensial dan feasible dibandingkan dengan biodiesel dari minyak bumi maupun dari edible plant and non-edible plant. Sedangkan dari aspek SLCA, indikator-indikator sosial yang harus diperhatikan dalam industry bioenergy berbasis WCO, yaitu provision of employment, human right, human health impact, working conditions, local community impact, cultural heritage, social-economic repercussion, governance and large accident risk.

Tantangan dan proses pengembangan bioenergy berbasis WCO dapat dilakukan dari berbagai aspek dan tahapan, antara lain melalui proses produksi, aspek ekonomi, aspek sosial, aspek lingkungan, dan aspek regulasi. Ada beberapa rekomendasi yang dapat dilakukan untuk mengembangkan dan memproduksi bioenergy berbasis WCO, yaitu perlu adanya komitmen politik dari negara (pemerintah) yang menempatkan WCO sebagai feedstock sumber energi nasional, bekerjasama dengan semua stakeholder terkait, menguasai pasar, melakukan research, development, dan proses optimasi secara terus menerus terhadap seluruh rangkaian proses produksi bioenergy berbasis WCO sehingga industry bioenergy berbasis WCO yang diharapkan bisa ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan.

Konsep berkelanjutan terdiri dari tiga pilar, yaitu lingkungan, ekonomi dan sosial, yang secara paralel perlu menjadi pertimbangan utama dari setiap tahapan dalam proses produksi WCO menjadi bioenergi, antara lain *collection phase*, *production phase*, dan *use and end phase*. Semua tahapan tersebut harus didukung oleh Pemerintah, kemudian membuat regulasi dan tata kelola pasokan WCO dan industri pengolah WCO menjadi bioenergi yang baik, dengan didukung R & D yang implementatif, didukung pendanaan yang cukup, dan kampanye *awareness* betapa pentingnya mengolah kembali

WCO menjadi bioenergi yang berpotensi bernilai ekonomi dalam bingkai ekonomi sirkular.

ggul

Universitas
Esa Unggul

Universitas
Esa Un

ggul

Universitas
Esa Unggul

Universitas
Esa Un

ggul

Universitas
Esa Unggul

Universitas
Esa Un

BAB VII

BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN

7.1. Realisasi Biaya Penelitian

1. Bahan Habis Pakai

Material	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
				-
				-
Sub Total				-

2. Biaya Transportasi dan Akomodasi

Material	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
				-
				-
Sub Total				-

3. Barang Inventaris

Material	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
				-
				-
Sub Total				-

4. Lain-lain

Material	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
1	Biaya proofreading	1	3,500,000	3,500,000
2	Biaya Publikasi (APC)	1	7,223,625	7,223,625
Sub Total				10,723,625
TOTAL BIAYA PENELITIAN				10,723,625

7.2. Jadwal Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan ke					
		1	2	3	4	5	6
1	Merumuskan tujuan, ruang lingkup, dan unit fungsional untuk proses review paper LCA, LCCA, dan SLCA terkait produksi biodiesel berbasis WCO di Scopus	■					
2	Mengolah data jumlah paper dengan menggunakan M. Excel	■					
3	Penulisan Draf Paper	■	■				
4	Mengolah data menggunakan Vosviewer		■				
5	Mengkompilasi dan inventori data untuk LCA, LCCA, dan SLCA		■				
6	Melakukan penilaian dampak (kategorisasi, klasifikasi, dan karakterisasi)		■				
7	Analisis keberlanjutan secara holistik		■				
8	Tantangan, pengembangan, rekomendasi, dan potensi industry biodiesel berbasis WCO di Indonesia		■				
9	Konsep keberlanjutan industri biodiesel berbasis WCO		■				
10	Submit Paper			■			
11	Revisi Paper					■	
12	Accepted dan Published paper						■

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, P., Shirley, J. & Mcmanus, M. 2015. Comparative Cradle-To-Gate Life Cycle Assessment Of Wood Pellet Production With Torrefaction. *Applied Energy*, 138, 367-380.
- Adiarso, A., Hermawan, E., Nelly, A., Wicaksana, D. E., Wijono, R. A., Ferabianie, A. L., Setiawan, H., Setiadi, S., Setiyadi, E. D. & Marsudi, A. 2024. Optimized Utilization Of Spent Bleaching Earth To Enhance Economic Performance Of Integrated Biodiesel-Cooking Oil Plants. *Case Studies In Chemical And Environmental Engineering*, 100784.
- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Amid, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Khoshnevisan, B. & Kianian, G. 2020. Life Cycle Assessment Analysis Of An Ultrasound-Assisted System Converting Waste Cooking Oil Into Biodiesel. *Renewable Energy*, 151, 1352-1364.
- Ahmad, I., Hermadi, I. & Arkeman, Y. 2015. Financial Feasibility Study Of Waste Cooking Oil Utilization For Biodiesel Production Using Anfis. *Telkomnika Indonesian Journal Of Electrical Engineering*, 13, 546-554.
- Al-Attab, K., Wahas, A., Almoqry, N. & Alqubati, S. 2017. Biodiesel Production From Waste Cooking Oil In Yemen: A Techno-Economic Investigation. *Biofuels*, 8, 17-27.
- Alanis, C., Córdoba, L. I. Á., Álvarez-Arteaga, G., Romero, R., Padilla-Rivera, A. & Natividad, R. 2022. Strategies To Improve The Sustainability Of The Heterogeneous Catalysed Biodiesel Production From Waste Cooking Oil. *Journal Of Cleaner Production*, 380, 134970.
- Arif, M., Wang, L., Salama, E.-S., Hussain, M. S., Li, X., Jalalah, M., Al-Assiri, M., Harraz, F. A., Ji, M.-K. & Liu, P. 2020. Microalgae Isolation For Nutrient Removal Assessment And Biodiesel Production. *Bioenergy Research*, 13, 1247-1259.
- Aziz, A. A., Elias, S. M. & Sabran, M. R. 2018. Repeatedly Heating Cooking Oil Among Food Premise Operators In Bukit Mertajam, Pulau Pinang And Determination Of Peroxide In Cooking Oil. *Malaysian Journal Of Medicine & Health Sciences*, 14.
- Bacovsky, D. 2023. Press Release – How Bioenergy Contributes To A Sustainable Future. Graz: International Energy Agency (Iea) Bioenergy.
- Batool, F., Kurniawan, T. A., Mohyuddin, A., Othman, M. H. D., Aziz, F., Al-Hazmi, H., Goh, H. H. & Anouzla, A. 2023. Environmental Impacts Of Food Waste Management Technologies: A Critical Review Of Life Cycle Assessment (Lca) Studies. *Trends In Food Science & Technology*, 104287.
- Bhonsle, A. K., Singh, J., Trivedi, J. & Atray, N. 2022. Comparative Lca Studies Of Biodiesel Produced From Used Cooking Oil Using Conventional And Novel Room Temperature Processes. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101072.
- Bps 2023. Distribusi Perdagangan Komoditas Minyak Goreng Indonesia. In: Distribusi, D. S. (Ed.). Jakarta: Central Statistics Agency (Bps) Of The Republic Of Indonesia.
- Caldeira, C., Freire, F., Olivetti, E. A., Kirchain, R. & Dias, L. C. 2019. Analysis Of Cost-Environmental Trade-Offs In Biodiesel Production Incorporating Waste Feedstocks: A Multi-Objective Programming Approach. *Journal Of Cleaner Production*, 216, 64-73.

- Caldeira, C., Queirós, J. & Freire, F. 2015. Biodiesel From Waste Cooking Oils In Portugal: Alternative Collection Systems. *Waste And Biomass Valorization*, 6, 771-779.
- Capaz, R. S., De Medeiros, E. M., Falco, D. G., Seabra, J. E., Osseweijer, P. & Posada, J. A. 2020. Environmental Trade-Offs Of Renewable Jet Fuels In Brazil: Beyond The Carbon Footprint. *Science Of The Total Environment*, 714, 136696.
- Casas, L. C., Orjuela, A. & Poganietz, W.-R. 2023. Sustainability Assessment Of The Valorization Scheme Of Used Cooking Oils (Ucos): The Case Study Of Bogotá, Colombia. *Biomass Conversion And Biorefinery*, 1-17.
- Chen, C., Chitose, A., Kusadokoro, M., Nie, H., Xu, W., Yang, F. & Yang, S. 2021. Sustainability And Challenges In Biodiesel Production From Waste Cooking Oil: An Advanced Bibliometric Analysis. *Energy Reports*, 7, 4022-4034.
- Chrysikou, L. P., Dagonikou, V., Dimitriadis, A. & Bezergianni, S. 2019. Waste Cooking Oils Exploitation Targeting Eu 2020 Diesel Fuel Production: Environmental And Economic Benefits. *Journal Of Cleaner Production*, 219, 566-575.
- Chung, Z. L., Tan, Y. H., San Chan, Y., Kandedo, J., Mubarak, N., Ghasemi, M. & Abdullah, M. O. 2019. Life Cycle Assessment Of Waste Cooking Oil For Biodiesel Production Using Waste Chicken Eggshell Derived Cao As Catalyst Via Transesterification. *Biocatalysis And Agricultural Biotechnology*, 21, 101317.
- Corral-Bobadilla, M., Lostado-Lorza, R., Somovilla-Gómez, F. & Íñiguez-Macedo, S. 2022. Life Cycle Assessment Multi-Objective Optimization For Eco-Efficient Biodiesel Production Using Waste Cooking Oil. *Journal Of Cleaner Production*, 359, 132113.
- De Albuquerque Landi, F. F., Fabiani, C., Castellani, B., Cotana, F. & Pisello, A. L. 2022. Environmental Assessment Of Four Waste Cooking Oil Valorization Pathways. *Waste Management*, 138, 219-233.
- De Araújo, C. D. M., De Andrade, C. C., E Silva, E. D. S. & Dupas, F. A. 2013. Biodiesel Production From Used Cooking Oil: A Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 27, 445-452.
- De Feo, G., Di Domenico, A., Ferrara, C., Abate, S. & Sesti Osseo, L. 2020. Evolution Of Waste Cooking Oil Collection In An Area With Long-Standing Waste Management Problems. *Sustainability*, 12, 8578.
- Deshmukh, R. 2019. The Effect Of Repeatedly Cooking Oils On Health And Wealth Of A Country: A Short Communication. *Journal Of Food Processing And Technology*, 10, 1-4.
- Dubey, N. & Avinash, H. 2024. Utilizing Waste Cooking Oil For Sustainable Biodiesel Production: A Comprehensive Review. *Journal Of Scientific Research And Reports*, 30, 222-234.
- Duti, I. J., Maliha, M. & Ahmed, S. 2016. Biodiesel Production From Waste Frying Oil And Its Process Simulation. *J. Mod. Sci. Technol*, 4, 50-62.
- Eguchi, S., Kagawa, S. & Okamoto, S. 2015. Environmental And Economic Performance Of A Biodiesel Plant Using Waste Cooking Oil. *Journal Of Cleaner Production*, 101, 245-250.
- Escobar, N., Ribal, J., Clemente, G. & Sanjuán, N. 2014. Consequential Lca Of Two Alternative Systems For Biodiesel Consumption In Spain, Considering Uncertainty. *Journal Of Cleaner Production*, 79, 61-73.

- Esmaeili, H. 2022. A Critical Review On The Economic Aspects And Life Cycle Assessment Of Biodiesel Production Using Heterogeneous Nanocatalysts. *Fuel Processing Technology*, 230, 107224.
- Fauziah, A. D. N. D. I. S. 2020. *Pra Rancangan Pabrik Biodiesel Dari Minyak Jelantah (Waste Cooking Oil) Kapasitas 16.000 Ton/Tahun*. Bachelor Degree, Universitas Islam Indonesia.
- Febijanto, I., Hermawan, E., Adiarso, A., Mustafa, A., Rahardjo, P., Wijono, R. A. & Sudjadi, U. 2024. Techno-Enviro-Economic Assessment Of Bio-Cng Derived From Palm Oil Mill Effluent (Pome) For Public Transportation In Pekanbaru City. *Renewable Energy Focus*, 49, 100569.
- Febijanto, I., Ulfah, F. & Trihadi, S. E. Y. A Review On Used Cooking Oil As A Sustainable Biodiesel Feedstock In Indonesia. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 2023. Iop Publishing, 012011.
- Figueiredo, K., Pierott, R., Hammad, A. W. & Haddad, A. 2021. Sustainable Material Choice For Construction Projects: A Life Cycle Sustainability Assessment Framework Based On Bim And Fuzzy-Ahp. *Building And Environment*, 196, 107805.
- Florio, C., Fiorentino, G., Corcelli, F., Ulgiati, S., Dumontet, S., Güsewell, J. & Eltrop, L. 2019. A Life Cycle Assessment Of Biomethane Production From Waste Feedstock Through Different Upgrading Technologies. *Energies*, 12, 718.
- Fokaides, P. & Christoforou, E. 2016. Life Cycle Sustainability Assessment Of Biofuels. *Handbook Of Biofuels Production*. Elsevier.
- Foteinis, S., Chatzisyneon, E., Litinas, A. & Tsoutsos, T. 2020. Used-Cooking-Oil Biodiesel: Life Cycle Assessment And Comparison With First-And Third-Generation Biofuel. *Renewable Energy*, 153, 588-600.
- Gkouskos, Z., Tsoutsos, T., Tournaki, S., Giamalaki, M. & Tsoutsos, T. From Used Cooking Oil To Biodiesel. Full Supply Chain Demonstration. *Conference On Renewable Energy Sources & Energy Efficiency*, April, 376â, 2018.
- Goh, B. H. H., Chong, C. T., Ge, Y., Ong, H. C., Ng, J.-H., Tian, B., Ashokkumar, V., Lim, S., Seljak, T. & Józsa, V. 2020. Progress In Utilisation Of Waste Cooking Oil For Sustainable Biodiesel And Biojet Fuel Production. *Energy Conversion And Management*, 223, 113296.
- Hackenhaar, I. C., Moraga, G., Thomassen, G., Taelman, S. E., Dewulf, J. & Bachmann, T. M. 2024. A Comprehensive Framework Covering Life Cycle Sustainability Assessment, Resource Circularity And Criticality. *Sustainable Production And Consumption*.
- Hartini, S., Sari, D. P., Utami, A. A., Widharto, Y. & Ramadan, B. S. 2023. Circular Economy Designing Of Municipal Waste Cooking Oil: A Case Study Of Semarang City, Indonesia. *Polish Journal Of Environmental Studies*, 32.
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nizami, A.-S., Kalogirou, S. A., Gupta, V. K., Park, Y.-K., Fallahi, A., Sulaiman, A., Ranjbari, M., Rahnama, H. & Aghbashlo, M. 2022. Environmental Life Cycle Assessment Of Biodiesel Production From Waste Cooking Oil: A Systematic Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 161, 112411.
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Tan, Y. H., Kansedo, J., Mubarak, N., Liew, R. K., Yek, P. N. Y., Aghbashlo, M., Ng, H. S., Chong, W. W. F. & Lam, S. S. 2023. Assessing Biodiesel Production Using Palm Kernel Shell-Derived Sulfonated

- Magnetic Biochar From The Life Cycle Assessment Perspective. *Energy*, 282, 128758.
- Hussain, M. N., Al Samad, T. & Janajreh, I. 2016. Economic Feasibility Of Biodiesel Production From Waste Cooking Oil In The Uae. *Sustainable Cities And Society*, 26, 217-226.
- Innocenzi, V. & Prisciandaro, M. 2021. Technical Feasibility Of Biodiesel Production From Virgin Oil And Waste Cooking Oil: Comparison Between Traditional And Innovative Process Based On Hydrodynamic Cavitation. *Waste Management*, 122, 15-25.
- Intarapong, P., Papong, S. & Malakul, P. 2016. Comparative Life Cycle Assessment Of Diesel Production From Crude Palm Oil And Waste Cooking Oil Via Pyrolysis. *International Journal Of Energy Research*, 40, 702-713.
- Jachryandestama, R., Nursetyowati, P., Fairus, S. & Pamungkas, B. 2021. Risk Analysis In Jakarta's Waste Cooking Oil To Biodiesel Green Supply Chain Using Group Ahp Approach. *Sinergi*, 25, 227-236.
- Kara, K., Ouanji, F., Lotfi, E. M., El Mahi, M., Kacimi, M. & Ziyad, M. 2018. Biodiesel Production From Waste Fish Oil With High Free Fatty Acid Content From Moroccan Fish-Processing Industries. *Egyptian Journal Of Petroleum*, 27, 249-255.
- Kesdm 2021. Peluang Dan Tantangan Pemanfaatan Biodiesel Berbasis Minyak Jelantah. Jakarta: Directorate General Of New, Renewable Energy And Energy Conservation, Ministry Of Energy And Mineral Resources (Kesdm) Of The Republic Of Indonesia.
- Khan, H. M., Ali, C. H., Iqbal, T., Yasin, S., Sulaiman, M., Mahmood, H., Raashid, M., Pasha, M. & Mu, B. 2019. Current Scenario And Potential Of Biodiesel Production From Waste Cooking Oil In Pakistan: An Overview. *Chinese Journal Of Chemical Engineering*, 27, 2238-2250.
- Khang, D. S., Hung, D. P. & Tuan, P. D. 2019. Environmental Impacts Assessment Of Biodiesel Production From Jatropha And Wco. *Vietnam Journal Of Science And Technology*, 57, 606-616.
- Kharina, A., Searle, S., Rachmadini, D., Kurniawan, A. A. & Priongo, A. 2018. The Potential Economic, Health And Greenhouse Gas Benefits Of Incorporating Used Cooking Oil Into Indonesia's Biodiesel. *White Paper*, 26, 2018.
- Khounani, Z., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nizami, A.-S., Sulaiman, A., Goli, S. A. H., Tavassoli-Kafrani, E., Ghaffari, A., Rajaeifar, M. A., Kim, K.-H. & Talebi, A. F. 2020. Unlocking The Potential Of Walnut Husk Extract In The Production Of Waste Cooking Oil-Based Biodiesel. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 119, 109588.
- Korakaki, M. & Georgakellos, D. 2014. Feasibility Evaluation Of A Biodiesel Plant Fed By Recycled Edible Oils Comparing Two Alternative Production Technologies. *Global Nest Journal*, 16, 1019-1028.
- Kristiana, T. & Baldino, C. 2021. Potential Biofuel Production Pathways In Indonesia: Overview Of Processes, Feedstocks, And Types Of Fuel.
- Kristiana, T., Baldino, C. & Searle, S. 2022. An Estimate Of Current Collection And Potential Collection Of Used Cooking Oil From Major Asian Exporting Countries. *Work. Pap*, 21.

- Kumara, S. 2020. Private And Government Partnership Yayasan Lengis Hijau And Denpasar City Government-Recycling Used-Cooking-Oil Into Bio-Diesel For Gensets And School Buses.
- Lin, R., Man, Y. & Ren, J. 2020. Framework Of Life Cycle Sustainability Assessment. *Life Cycle Sustainability Assessment For Decision-Making*. Elsevier.
- Liu, Y., Liu, T., Agyeiwaa, A. & Li, Y. A Swot Analysis Of Biodiesel Production From Waste Cooking Oil. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 2018. Iop Publishing, 022136.
- Mahmood, T., Hassan, S., Sheikh, A., Raheem, A. & Hameed, A. 2022. Experimental Investigations Of Diesel Engine Performance Using Blends Of Distilled Waste Cooking Oil Biodiesel With Diesel And Economic Feasibility Of The Distilled Biodiesel. *Energies*, 15, 9534.
- Manikandan, G., Kanna, P. R., Taler, D. & Sobota, T. 2023. Review Of Waste Cooking Oil (Wco) As A Feedstock For Biofuel—Indian Perspective. *Energies*, 16, 1739.
- Mendecka, B., Lombardi, L. & Koziol, J. 2020. Probabilistic Multi-Criteria Analysis For Evaluation Of Biodiesel Production Technologies From Used Cooking Oil. *Renewable Energy*, 147, 2542-2553.
- Moecke, E. H. S., Feller, R., Dos Santos, H. A., De Medeiros Machado, M., Cubas, A. L. V., De Aguiar Dutra, A. R., Santos, L. L. V. & Soares, S. R. 2016. Biodiesel Production From Waste Cooking Oil For Use As Fuel In Artisanal Fishing Boats: Integrating Environmental, Economic And Social Aspects. *Journal Of Cleaner Production*, 135, 679-688.
- Osipova, L., Carvalho, F. & Sturup, E. 2023. Used Cooking Oil's Potential To Reduce Ghg Emissions From Indonesia's Fishing Fleet.
- Osman, A. I., Mehta, N., Elgarahy, A. M., Al-Hinai, A., Al-Muhtaseb, A. A. H. & Rooney, D. W. 2021. Conversion Of Biomass To Biofuels And Life Cycle Assessment: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 4075-4118.
- Pasha, M. K., Rahim, M., Dai, L., Liu, D., Du, W. & Guo, M. 2024. Comparative Study Of A Two-Step Enzymatic Process And Conventional Chemical Methods For Biodiesel Production: Economic And Environmental Perspectives. *Chemical Engineering Journal*, 489, 151254.
- Paspi, R. T. 2020. Katalis Merah Putih: The Way To Achieve National Vision To National Energy Security Through Palm Oil-Based Biohydrocarbon. *In: Issues*, A. O. P. O. S. (Ed.). Bogor - West Java: Palm Oil Agribusiness Strategic Policy Institute (Paspi).
- Perdana, B. E. G. 2021. Circular Economy Of Used Cooking Oil In Indonesia: Current Practices And Development In Special Region Of Yogyakarta. *Journal Of World Trade Studies*, 6, 28-39.
- Rahimi, V. & Shafiei, M. 2019. Techno-Economic Assessment Of A Biorefinery Based On Low-Impact Energy Crops: A Step Towards Commercial Production Of Biodiesel, Biogas, And Heat. *Energy Conversion And Management*, 183, 698-707.
- Rahman, A., Nastiti, K. D., Prihantini, N. B., Oktaufik, M. & Indrijarso, S. 2023. Life Cycle Engineering (Lce) Study For Synechococcus Hs-9 Biomass Production As Potential Raw Material For A Third Generation Biodiesel Production. *Sustainable Energy Technologies And Assessments*, 60, 103484.
- Rajaeifar, M. A., Tabatabaei, M., Abdi, R., Latifi, A. M., Saberi, F., Askari, M., Zenouzi, A. & Ghorbani, M. 2017. Attributional And Consequential Environmental

- Assessment Of Using Waste Cooking Oil-And Poultry Fat-Based Biodiesel Blends In Urban Buses: A Real-World Operation Condition Study. *Biofuel Research Journal*, 4, 638-653.
- Rekhate, C. & Prajapati, A. K. 2019. Production, Engine Performance, Combustion, Emission Characteristics And Economic Feasibility Of Biodiesel From Waste Cooking Oil: A Review. *Environmental Quality Management*, 29, 7-35.
- Ripa, M., Buonauro, C., Mellino, S., Fiorentino, G. & Ulgiati, S. 2014. Recycling Waste Cooking Oil Into Biodiesel: A Life Cycle Assessment. *International Journal Of Performability Engineering*, 10, 347.
- Ruatpuia, J. V., Halder, G., Vanlalchhandama, M., Lalsangpuii, F., Boddula, R., Al-Qahtani, N., Niju, S., Mathimani, T. & Rokhum, S. L. 2024. Jatropa Curcas Oil A Potential Feedstock For Biodiesel Production: A Critical Review. *Fuel*, 370, 131829.
- Samad, A. T. P., Perdani, M. S., Putri, D. N. & Hermansyah, H. 2018. Techno-Economic Analysis Of Portable Plant From Waste Cooking Oil. *Energy Procedia*, 153, 269-273.
- Seber, G., Malina, R., Pearlson, M. N., Olcay, H., Hileman, J. I. & Barrett, S. R. 2014. Environmental And Economic Assessment Of Producing Hydroprocessed Jet And Diesel Fuel From Waste Oils And Tallow. *Biomass And Bioenergy*, 67, 108-118.
- Sharma, P., Usman, M., Salama, E.-S., Redina, M., Thakur, N. & Li, X. 2021. Evaluation Of Various Waste Cooking Oils For Biodiesel Production: A Comprehensive Analysis Of Feedstock. *Waste Management*, 136, 219-229.
- Sheinbaum-Pardo, C., Calderón-Irazoque, A. & Ramírez-Suárez, M. 2013. Potential Of Biodiesel From Waste Cooking Oil In Mexico. *Biomass And Bioenergy*, 56, 230-238.
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S., Inda, C. S., Sharma, S., Sharma, P. K. & Jhalani, A. 2021. A Comprehensive Review Of Biodiesel Production From Waste Cooking Oil And Its Use As Fuel In Compression Ignition Engines: 3rd Generation Cleaner Feedstock. *Journal Of Cleaner Production*, 307, 127299.
- Suzihaque, M., Alwi, H., Ibrahim, U. K., Abdullah, S. & Haron, N. 2022. Biodiesel Production From Waste Cooking Oil: A Brief Review. *Materials Today: Proceedings*, 63, S490-S495.
- Teixeira, M. R., Nogueira, R. & Nunes, L. M. 2018. Quantitative Assessment Of The Valorisation Of Used Cooking Oils In 23 Countries. *Waste Management*, 78, 611-620.
- Tian, H., Wang, X. & Tong, Y. W. 2020. Sustainability Assessment: Focusing On Different Technologies Recovering Energy From Waste. *Waste-To-Energy*, 235-264.
- Tnp2k 2020. Permanfaatn Minyak Jelantah (Wco) Untuk Produksi Biodiesel Dan Pengentasan Kemiskinan Di Indonesia. Jakarta: National Team For The Acceleration Of Poverty Reduction (Tnp2k) Secretariat Of The Vice President Of Indonesia.
- Tsoutsos, T., Tournaki, S., Paraiba, O. & Kaminaris, S. 2016. The Used Cooking Oil-To-Biodiesel Chain In Europe Assessment Of Best Practices And Environmental Performance. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 54, 74-83.

- Ubando, A. T., Ng, E. A. S., Chen, W.-H., Culaba, A. B. & Kwon, E. E. 2022. Life Cycle Assessment Of Microalgal Biorefinery: A State-Of-The-Art Review. *Bioresource Technology*, 360, 127615.
- Unep 2009. Guidelines For Social Life Cycle Assessment Of Products. Belgium: United Nations Environment Programme (Unep) And Society Of Environmental Toxicology And Chemistry (Setac).
- Unep 2020. Guidelines For Social Life Cycle Assessment Of Products And Organizations 2020. United Nations Environment Programme.
- Van Kasteren, J. & Nisworo, A. 2007. A Process Model To Estimate The Cost Of Industrial Scale Biodiesel Production From Waste Cooking Oil By Supercritical Transesterification. *Resources, Conservation And Recycling*, 50, 442-458.
- Varanda, M. G., Pinto, G. & Martins, F. 2011. Life Cycle Analysis Of Biodiesel Production. *Fuel Processing Technology*, 92, 1087-1094.
- Vinyes, E., Oliver-Solà, J., Ugaya, C., Rieradevall, J. & Gasol, C. M. 2013. Application Of Lcsa To Used Cooking Oil Waste Management. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, 18, 445-455.
- Viomery-Portillo, E. A., Bravo-Díaz, B. & Mena-Cervantes, V. Y. 2020. Life Cycle Assessment And Emission Analysis Of Waste Cooking Oil Biodiesel Blend And Fossil Diesel Used In A Power Generator. *Fuel*, 281, 118739.
- Widodo, P. S. P. 2011. *Analisis Kelayakan Usaha Pengolahan Minyak Jelantah (Waste Cooking Oil) Menjadi Biodiesel*. Bachelor Degree, Institut Pertanian Bogor.
- Widyarini, P. 2022. Perbandingan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Produksi Biodiesel Berbahan Baku Cpo Dan Uco Dengan Metode Life Cycle Analysis. Jakarta.
- Yang, N., Li, F., Liu, Y., Dai, T., Wang, Q., Zhang, J., Dai, Z. & Yu, B. 2022. Environmental And Economic Life-Cycle Assessments Of Household Food Waste Management Systems: A Comparative Review Of Methodology And Research Progress. *Sustainability*, 14, 7533.
- Yaqoob, H., Teoh, Y. H., Sher, F., Farooq, M. U., Jamil, M. A., Kausar, Z., Sabah, N. U., Shah, M. F., Rehman, H. Z. U. & Rehman, A. U. 2021. Potential Of Waste Cooking Oil Biodiesel As Renewable Fuel In Combustion Engines: A Review. *Energies*, 14, 2565.
- Yeboah, A. K., Naanwaab, C. B., Yeboah, O.-A., Owens, J. P. & Bynum, J. S. 2013. Economic Feasibility Of Sustainable High Oilseed-Based Biofuel Production: The Case For Biodiesel In North Carolina. *International Food And Agribusiness Management Review*, 16, 41-66.
- Zahid, M., Khalid, S., Raana, S., Amin, S., Javaid, H., Arshad, R., Jahangeer, A., Ahmad, S. & Hassan, S. A. 2024. Unveiling The Anti-Oxidative Potential Of Fruits And Vegetables Waste In Prolonging The Shelf Stability Of Vegetable Oils. *Future Foods*, 100328.
- Zhang, Y. & Jiang, Y. 2017. Robust Optimization On Sustainable Biodiesel Supply Chain Produced From Waste Cooking Oil Under Price Uncertainty. *Waste Management*, 60, 329-339.
- Zhang, Z., Wei, K., Li, J. & Wang, Z. 2022. Life-Cycle Assessment Of Bio-Jet Fuel Production From Waste Cooking Oil Via Hydroconversion. *Energies*, 15, 6612.
- Zhao, Y., Wang, C., Zhang, L., Chang, Y. & Hao, Y. 2021. Converting Waste Cooking Oil To Biodiesel In China: Environmental Impacts And Economic Feasibility. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 140, 110661.

Lampiran 1. Surat Pernyataan Ketua Pelaksana

Surat Pernyataan Ketua Pelaksana Penelitian

Yang bertadatangan di bawah ini:

Nama : Dr. Arif Rahman, S.Si., M.T
NIDN/NUPTK : 4435774675130232
Fakultas/ Prodi : Fakultas Teknik/ Teknik Mesin
Jabatan fungsional : -

Dengan ini saya menyatakan bahwa proposal program penelitian yang diajukan dengan judul:

“Current Scenario and Potential of Waste Cooking Oil as a Feedstock for Biodiesel Production: Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) Review”

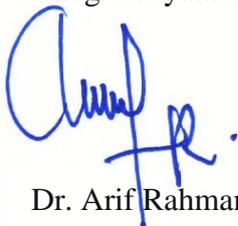
Yang saya usulkan dalam skema penelitian dasar secara mandiri di Universitas Esa Unggul tahun 2024 bersifat original dan belum pernah dibiayai oleh lembaga/ sumber dana lain.

Bilamana diketahui dikemudian hari adanya indikasi ketidakjujuran/ itikad kurang baik sebagaimana dimaksud di atas, maka kegiatan ini dibatalkan dan saya bersedia mengembalikan dana yang telah diterima kepada pihak Universitas Esa Unggul melalui LPPM.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Jakarta, 24 Januari 2025

Yang menyatakan,



Dr. Arif Rahman, S.Si., M.T

Lampiran 2. Biodata Pengusul

CURRICULUM VITAE

A. Identitas Diri

Nama	:	Dr. Arif Rahman, S.Si., M.T.
Jenis Kelamin	:	Laki-Laki
NUPTK	:	4435774675130232
Tempat, Tanggal Lahir	:	Bima, 03 Januari 1996
Email	:	arif.rahman@esaunggul.ac.id
Nomor Tlp/HP	:	0812 2579 7987
Alamat Kantor	:	Jl. Arjuna Utara No 9, Tol Tomang, Kebon Jeruk, Jakarta Barat
Alamat Rumah	:	Jln Asri 1, RT 08 RW 11 Perumahan Dephankam Pondok Rajeg Kec. Cibinong Kab. Bogor Jawa Barat.
<i>h-index</i> (scopus)	:	8 (https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57205126362)

B. Pengalaman Kerja

Tahun	Kegiatan
2019	Tim Penyusun dan Pelaporan Pelaksanaan Kajian <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) dalam Penilaian Proper di MOR VII Sulawesi dari Pemberi Tugas PT Pertamina (Persero)
2021	Tim Penyusun dan Pelaporan Pelaksanaan Kajian <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) dalam Penilaian Proper di MOR VI Kalimantan dari Pemberi Tugas PT. Pertamina Patra Niaga
2021	Tim Penyusun dan Pelaporan Pelaksanaan Kajian <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) dalam Penilaian Proper di MOR I Sumatra dari Pemberi Tugas PT. Pertamina Patra Niaga
2021	Jasa Konsultasi Pembuatan Tinjauan Kritis dan Evaluasi Kajian <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) Lokasi Kerja C&T Regional Papua Maluku dari Pemberi Tugas PT. Pertamina Patra Niaga
2022	Tim Penyusun dan Pelaporan Pelaksanaan Kajian <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) dalam Penilaian Proper di MOR I Sumatra dari Pemberi Tugas PT. Pertamina Patra Niaga
2023-2025	Post-Doctoral di Pusat Riset Sistem Produksi Berkelanjutan dan Penilaian Daur Hidup (PR-SPB & PDH) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
2024	Tenaga Ahli Pelaksanaan Gap Assessment untuk Proper Hijau dari Pemberi Tugas PT. Heinz ABC Indonesia – Karawang Plant

2024	Tenaga Ahli Pelaksanaan Gap Assessment untuk Proper Hijau dari Pemberi Tugas PT. Heinz ABC Indonesia – Pasuruan Plant
2024-sekarang	Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Esa Unggul

C. Riwayat Pendidikan Formal

No	Nama Pendidikan	Jenjang	Tingkat	Tahun	Tempat
1.	SDN No.5 Sila	SD	Sekolah Dasar	2001-2007	Kab. Bima, NTB
2.	SMPN 1 Bolo	SMP	Sekolah menengah Pertama	2007-2010	Kab. Bima, NTB
3.	SMAN 4 Kota Bima	SMA	Sekolah Menengah Atas	2010-2012	Kota Bima, NTB
4.	Universitas Negeri Yogyakarta	S1	Sarjana	2012-2016	Yogyakarta
5	Univesitas Indonesia	S2	Magister	2017-2019	Depok
6	Univesitas Indonesia	S3	Doktor	2019-2022	Depok

D. Hibah Penelitian yang Pernah di Raih

No.	Judul Penelitian	Tahun	Posisi	Sumber Dana	Nilai Dana
1	Simulasi dan Eksperimen Pengaruh Mikro Bubble (Aerasi) dan Gelombang Ultrasonik pada Fotobioreaktor terhadap Pertumbuhan dan Pemanenan <i>Synechococcus</i> sp.	2018	Anggota Peneliti	DRPM UI	Rp. 90.000.000
2	Optimasi Fotobioreaktor dalam Memproduksi Biomassa Mikroalga untuk Menghasilkan Biofuel	2018-2020	Anggota Peneliti	Kemeristek-Dikti RI	Rp. 270.000.000

	sebagai Bahan Bakar yang Ramah Lingkungan				
3	Diversifikasi Sumber Daya Alam Indonesia untuk Konservasi Energi dan Lingkungan	2019	Anggota Peneliti	DRPM UI	Rp. 270.000.000
4	Analisis Hidrodinamik dan <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> terhadap Kultivasi Mikroalga <i>Synechococcus HS-9</i> Menggunakan Fotobioreaktor Kolom Gelembung untuk Memproduksi Biomassa sebagai <i>Green energy</i> dan <i>Eco-Environment</i>	2020	Anggota Peneliti	DRPM UI	RP. 130.000.000
5	Pengembangan dan Pembuatan Kereta Cepat Merah Putih (Tim UI Sub Penelitian : Sistem AC).	2022	Anggota Peneliti	Kedaireka Kemedikbud-Ristek RI	RP. 1.171.310.000
6.	Analisis Eksperimental terhadap Penangkapan Karbon Dioksida (<i>CO₂ Capture</i>) dengan Memanfaatkan Mikroalga yang berasal dari Alam Indonesia yang Dikultivasi menggunakan <i>Rectangular Airlift Photobioreactor (RAPBR-Bs)</i> untuk Mengurangi Emisi Karbon Global	2023-2024	Anggota Peneliti	Direktorat Riset dan Pengembangan Universitas Indonesia	Rp. 150.000.000

E. Publikasi Ilmiah

No	Title	Publisher	Volume/Page/Year	Quartiles
1	Current scenario and potential of waste cooking oil as a feedstock for biodiesel production in Indonesia: Life cycle sustainability assessment (LCSA) review	Case Studies in Chemical and Environmental Engineering	Volume 11, (2025) 101067	Q1
2	Multi-Objective Genetic Algorithm Optimization of Energy Efficiency and Biomass Concentration of <i>Synechococcus</i> HS-9 Cultivation for Third-Generation Biodiesel Feedstock	Case Studies in Chemical and Environmental Engineering	Volume 9, (2024) 100614	Q1
3	Life Cycle Engineering (LCE) Study for <i>Synechococcus</i> HS-9 Biomass Production as Potential Raw Material for A Third Generation Biodiesel Production	Sustainable Energy Technologies and Assessments	Volume 60, December 2023, 103484	Q1
4	Cultivation of <i>Synechococcus</i> HS-9 in a Novel Rectangular Bubble Column Photobioreactor with Horizontal Baffle	Case Studies in Thermal Engineering	Volume 27, October 2021, 101264	Q1
5	Generation of Microbubbles Through Single Loop and Double Loop Fluid Oscillator for Photobioreactor Aeration	International Journal of Technology	10(7): 1446-1452 ISSN 2086-9614	Q2
6	Effect of bubble Size on the Growth <i>Synechococcus</i> HS-9 Microalgae with Double Loop Fluid Oscillator	EVERGREEN	Vol. 08, Issue 04, pp866-871, December 2021	Q2
7	Bubble Coalescence on Photobioreactor Bubble Columns by Using Horizontal Baffle for Microalgae.	EVERGREEN	Vol. 08, Issue 04, pp861-865, December 2021	Q2
8	Biomass Production and Synthesis of Biodiesel from Microalgae <i>Synechococcus</i> HS-9 (Cyanobacteria)	EVERGREEN	Vol. 07, Issue 04, pp564-570, December 2020	Q3

	Cultivated Using Bubble Column Photobioreactors			
9	The Application of Polydispersed Flow on Rectangular Airlift Photobioreactor Mixing Performance	EVERGREEN	Vol. 07, Issue 04, pp571-579, December 2020	Q3
10	Tubular Photobioreactor: A Preliminary Experiment Using <i>Synechococcus</i> sp. (Cyanobacteria) Cultivated in NPK Media for Biomass Production as Biofuel Feedstock	EVERGREEN	Vol. 06, Issue 02, pp.157-161, June 2019	Q3
11	Fatty acid of microalgae as a potential feedstock for biodiesel production in Indonesia	Proceeding International Conference	2062, 020059 (2019); Published Online: 25 January 2019	AIP Conference Proceedings
12	The Effect of Modification Photobioreactor Bubble Columns by Using Horizontal Baffle on Bubble Velocity for Microalgae	Proceeding International Conference	2255, 030053 (2020)	AIP Conference Proceedings
13	Comparison of Two Microalgae Rectangular Airlift Photobioreactors Using Computational Fluid Dynamics (CFD)	Proceeding International Conference	2255, 030052 (2020)	AIP Conference Proceedings
14	Multi objective optimization of microalgae flat plate photobioreactor design	Proceeding International Conference	67, 02053 (2018), Scopus	AIP Conference Proceedings
15	Multiobjective optimization of synechocytis culture in flat-plate photobioreactor toward optimal growth and exergy	Journal of Physics: Conference	2021, 1858(1), 012038	AIP Conference Proceedings
16	Effect of aeration in simple photobioreactor system for biomass production of <i>Synechococcus</i> sp. (cyanobacteria) HS-7 and HS-9 as biofuel feedstock	Proceeding International Conference	67, 02006 (2018)	AIP Conference Proceedings
17	Effects of aeration intensity as agitation in simple photobioreactors on	Proceeding International Conference	67, 02011 (2018)	AIP Conference Proceedings

	<i>Leptolyngbya</i> (cyanobacteria) growth as biofuel feedstock			
18	Preliminary Design of Microalgal Biomass Harvesting Module using Ultrasound Wave Trapping Principle	Proceeding International Conference	2255, 030015 (2020)	AIP Conference Proceedings

F. Beasiswa yang Pernah di Raih

Tahun	Bentuk Penghargaan	Pemberi
2014-2015	Awardee Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA)	Kemenristek Dikti
2017 – 2021	Awardee Beasiswa Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU)	Kemenristek Dikti

G. Konferensi Internasional yang Pernah Diikuti

Tahun	Judul Kegiatan	Penyelenggara
2016	the 2nd International Conference on Science and Technology (ICST) di Yogyakarta	UGM
2018	the 3 rd i-TREC 2018 International Tropical Renewable Energy Conference di Bali	Universitas Indonesia
2018	The 10th International Meeting of Advances in Thermofluids (IMAT) di Bali	Universitas Indonesia
2019	The 11th International Meeting of Advances in Thermofluids (IMAT) di Fukuoka, Jepang	Kyushu University
2023	International Conference on Polygeneration (ICP) 2023 di Bali	Universitas Indonesia

H. Pengalaman Pelatihan dan Webinar

No	Nama Pelatihan	Lokasi	Lembaga Pelatihan	Tahun
1	Training on Life Cycle Assessment - Jumpstart with GaBi Software	Zoom Meeting	Aljabar Training & Consulting as an official distributor	2021

2	LCA –Jumpstart and Intermediate Training using GaBi Software and Databases	Zoom Meeting	Aljabar Training & Consulting as an official distributor	2021
3	EST Public Speaking	Zoom Meeting	Abuzi Training	2021
4	Lecture Series on Energy, Chemical, Process, and Metallurgy Engineering “Panas Bumi : Tulang Punggung Masa Depan Energi Indonesia”	Zoom Meeting	Ikatan Ilmuwan Indonesia Internasional	2021
5	Kursus Arduino Data Acquisition	Zoom Meeting	Tim Inkubator Universitas Indonesia	2021
6	Microalgae to Energy	Zoom Meeting	Pusat Studi Energi (PSE) UGM	2020
7	Teknologi Kultivasi Mikroalga	Zoom Meeting	Pusat Studi Energi (PSE) UGM	2020
8	Inovasi Teknologi Sistem HVAC untuk Penanganan COVID-19 dalam Aplikasi Mobile Lab Biosafety Level 2 (MBSL-2) TFRIC-19 BPPT	Zoom Meeting	BPPT	2020
9	Teknologi Nuklir & Nanoteknologi untuk Energi Bersih Berbasis SDA lokal	Zoom Meeting	BATAN	2020
10	Potensi Pengembangan Renewable Energy di Lokasi 3T	Zoom Meeting	Program Studi Profesi Insinyur Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya dan Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Jawa Timur	2020
11	General Lecture : Life Cycle Assesment for Energy and Environment	Zoom Meeting	Universitas Diponegoro	2022
12	Webinar Perhitungan Gas Rumah Kaca	Zoom Meeting	ECOEDU.id	2023
13	Webinar Mengolah Data Statistik Bidang Lingkungan	Zoom Meeting	ECOEDU.id	2023

14	Perhitungan Karbon di Bidang Industri Berdasarkan Perspektif LCA	Zoom Meeting	Indonesia Life Cycle Assessment Network (ILCAN)	2024
15	Training of The Establishing GHG Management pada Industri Manufaktur	Zoom Meeting	CarbonShare	2024

Dengan ini saya menyatakan bahwa data yang saya berikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan.

Jakarta, 13 Februari 2025
Yang membuat,



(Dr. Arif Rahman, S.Si., M.T)

SURAT TUGAS
No. 002/ST-PEN/LPPM/UEU/II/2025

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : LARAS SITOAYU, S.Gz, M.K.M

Jabatan : Kepala LPPM

Menugaskan nama-nama dibawah ini:

No.	Nama	Jabatan	NIDN/NIDK/NUP	Fakultas
1	Dr. ARIF RAHMAN, S.Si., M.T.	Ketua	-	Fakultas Teknik

Untuk melakukan kegiatan penelitian dengan judul:

"CURRENT SCENARIO AND POTENTIAL OF WASTE COOKING OIL AS A FEEDSTOCK FOR BIODIESEL PRODUCTION: LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT (LCSA) REVIEW"

Demikian surat tugas ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 4 Februari 2025

Kepala LPPM

LARAS SITOAYU, S.Gz, M.K.M
NIK. 215080596



Yang bertanda tangan di bawah ini :

1. Nama : Dr. Ir. M.A.M. Oktaufik
2. Jabatan : Ketua Kelompok Riset Life Cycle Engineering & Management
Pusat Riset Sistem Produksi Berkelanjutan dan Penilaian Daur
Hidup
3. Instansi/Badan/Kelompok : Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
4. Alamat : Gedung 720, KST BJ Habibie, Serpong, Tangerang Selatan,
15314, Banten

Menyatakan bersedia menjadi mitra kegiatan Program Kegiatan Penelitian dengan Judul :

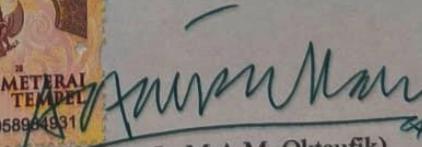
1. Judul : CURRENT SCENARIO AND POTENTIAL OF WASTE COOKING
OIL AS A FEEDSTOCK FOR BIODIESEL PRODUCTION: LIFE
CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT (LCSA) REVIEW
2. Nama Ketua Tim : Dr. ARIF RAHMAN, S.Si., M.T.
3. Perguruan Tinggi : UNIVERSITAS ESA UNGGUL

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab ada unsur pemaksaan di dalam perbuatannya untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 12 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,




(Dr. Ir. M.A.M. Oktaufik)

Nama : Dr. ARIF RAHMAN, S.Si., M.T.
 : CURRENT SCENARIO AND POTENTIAL OF WASTE COOKING OIL AS A FEEDSTOCK
 Judul Penelitian FOR BIODIESEL PRODUCTION: LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT (LCSA)
 REVIEW



No.	Tanggal Kegiatan	Nama Kegiatan	No. Notulensi	Link Notulensi (dalam drive)
1	3 Juni 2024	Merumuskan tujuan, ruang lingkup, dan unit fungsional untuk proses review paper LCA, LCCA, dan SLCA terkait produksi biodiesel berbasis WCO di Scopus		
2	10 Juli 2024	Mengolah data jumlah paper dengan menggunakan M. Excel		
3	3 Juni - 25 September	Penulisan Draf Paper		
4	15 Juli 2024	Mengolah data menggunakan Vosviewer		
5	20 Juli 2024	Mengkompilasi dan inventori data untuk LCA, LCCA, dan SLCA		
6	5 Agustus 2024	Melakukan penilaian dampak (kategorisasi, klasifikasi, dan karakterisasi)		
7	12 Agustus 2024	Analisis keberlanjutan secara holistik		
8	1 September 2024	Tantangan, pengembangan, rekomendasi, dan potensi industry biodiesel berbasis WCO di Indonesia		
9	20 September 2024	Konsep keberlanjutan industri biodiesel berbasis WCO		
10	20 Oktober 2024	Submit Paper		
11	16 November - 3 Desember 2024	Revisi Paper		
12	12-13 Desember 2024	Accepted dan Published paper		



DIAN TRANSLATION

Translation and Proofreading Services

www.diantranslation.com

info@diantranslation.com

62 85 228 001 002

Invoice #TT-021024-01

Invoice Date: 02/10/24

Due Date: 02/10/24

PAID

Invoiced To

Arif Rahman

Description	Qty	Total
Translation (Bahasa Indonesia - English) and Proofreading	17,960	Rp3,500,000.00
	Sub Total	Rp3,500,000.00
	Discount	-
	Total	Rp3,500,000.00

The payment has already been confirmed.

Note: If there is any mistake and/or error in the translation document, please confirm by contacting us on the number mentioned above immediately for better revision.

Thank you for trusting our translation and/or proofreading services.

Sincerely yours,
**Head of Translation
& Proofreading**

Mochlisin

REFERENCE : 310TEB01565424

NO. TRX. : 84651 933556 96962 TRAN 19/12/2024 13:51:37
NO. REK. : 000000618040089 Bpk ARIE RAHMAN
JUMLAH : 444,375 - 1568
120 - TEBET IDR

NO. TRX. : 84651 933556 96962 TRAN 19/12/2024 13:51:37
NO. REK. : 120360420801001 PENDAPATAN PROPISI KU
JUMLAH : 35,000 1568
120 - TEBET IDR

NO. TRX. : 84651 933556 96962 TRAN 19/12/2024 13:51:37
NO. REK. : 120360482010001 Pendapatan Restitusi B
JUMLAH : 409,375 1568
120 - TEBET IDR

NO. TRX. : 84651 933556 96962 TRAN 19/12/2024 13:51:37
NO. REK. : 000000618040089 Bpk ARIE RAHMAN
JUMLAH : 6,779,250 - 1568
120 - TEBET IDR

NO. TRX. : 84651 933556 96962 TRAN 19/12/2024 13:51:37
NO. REK. : 120840200101001 KU YAKIR
JUMLAH : 414 1568
120 - TEBET USD



PT. BANK NEGARA INDONESIA (Persero), Tbk
CABANG : TEBET

IBOC - Maintenance (S

Teller ID : 84651
Date : 19/12/2024
Time : 13:55:27

Sender's Reference:
:20:S10TEB01565424
Bank Operation Code:
:23B:CRED

Value Date/Currency/Interbank Settled Amount:
:32A:241219USD414,
Ordering Customer:
:50K:/0000000618040089

SDR ARIF RAHMAN
DESA KANANGA RT 05 RW 02 BOLO BIMA
NUSA TENGGARA BARAT INDONESIA

Ordering Institution:
:52A:BNINIDJAXXX
Account With Institution:
:57A:INGENL2AXXX

Beneficiary Customer:
:59:/NL48INGB0020158181

ELSEVIER BV ✓
RADARWEG 29 1043 NX AMSTERDAM
NETHERLANDS

Remittance Information:
:70:APC PAYMENT OF CSCEE JOURNAL INV NO
OAD0000513850 CUSTOMER NUMBER
5997585

Details Of Charges:
:71A:OUR



BNI

Tanggal/ Date : 19-12-2024

Formulir Kiriman Uang
Remittance Application

Penerima/ Beneficiary Penduduk/ Resident Bukan Penduduk/ Non Resident

Perorangan/ Personal Perusahaan/ Company

Pemerintah/ Government Remittance

Nama/ Name : Elsevier BV
Alamat/ Address : Radarweg 29 1043 NX
Telepon/ Phone :
Kota/ City : Amsterdam Negara/ Country : Netherlands

Bank Penerima/ Beneficiary Bank : ING Bank N.V
Kota/ City : Amsterdam Negara/ Country : Netherlands
No. Rek./ Acc. No. : NL481NGB0020158181

Pengirim/ Remitter Penduduk/ Resident Bukan Penduduk/ Non Resident

Perorangan/ Personal Perusahaan/ Company

Pemerintah/ Government Remittance

Nama/ Name : Arif Rahman
Nama Alias/ Alias Name : Arif
No. ID : 5206020301960001
KTP/SIM/ Passport/ KITAS :
Alamat/ Address : Desa Karang RT 05 RW 02 Kec. Bolo
Telepon/ Phone : 081 225 797 987
Kota/ City : Kab. Bima Negara/ Country : NTB

Jenis Pengiriman/ Type of Transfer L/G/ Clearing Draft
 RTGS SWIFT

Sumber Dana/ Source of fund : Tunai/ Cash Cek/ BG No.
 Debit Rek./ Debit Acc. No. : 661.804.0089

Mata Uang/ Currency : IDR USD

Jumlah Dana yang dikirim/ Amount Transfer :

Jumlah/ Amount	Kurs/ Rate	Nilai/ Total Amount
USD 414		

Biaya/ Charge	Valasi/ Amount in Foreign Exchange	Kurs/ Amount	Nilai/ Total Amount

Komis/ Commission

Pengiriman/ Handling

Bank Koresponden/ Correspondent Bank

Jumlah Biaya / Amount Charge :

Total yang dibayarkan/ Total Amount

Terbilang/ Amount in Words

Tujuan Transaksi (Transaction Purpose) : APC Payment of CSCEE Journal

Berita (Message) : Invoice number : 0AD0000513850

Customer number : 5997585

Biaya dari bank koresponden dibebankan ke rekening/ Correspondent bank charges are for account of : Penerima/ Beneficiary Pengirim/ Remitter Sharing

Pejabat Bank/ Bank Officer

