

Journal of Comprehensive Science
p-ISSN: 2962-4738 e-ISSN: 2962-4584
Vol. 1 No. 4 November 2022

**KONVERSI LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT UNTUK PRODUKSI
BIOENERGI**

Allifia Wahyu Firdha Usi, Agus Aan Adriansyah, Budhi Setianto, Achmad Syafiuddin
Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya

Email: allifiafirdhausi@gmail.com, Aan.naufal87@unusa.ac.id,
budhisetianto@unusa.ac.id, achmadsyafiuddin@unusa.ac.id

Abstrak

Indonesia memiliki masalah ketidakseimbangan penggunaan energi yang mayoritas berasal dari energi primer. Sebagian besar pasokan energi masih didominasi oleh minyak bumi. Dalam rangka untuk menyediakan sumber energi alternatif pengganti minyak bumi sebagai penyumbang energi terbesar, pemerintah Indonesia telah menetapkan bahwa pada tahun 2025 biomassa diharapkan dapat dieksplorasi secara signifikan. Salah satu pemanfaatan biomassa adalah dengan mengkonversi kelapa sawit menjadi bioetanol dan biohidrogen menjadi bioenergi. Fokus pada topik mengetahui jenis limbah padat kelapa sawit untuk proses pembuatan bioetanol dan biohidrogen, cara konversi limbah serta biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan bioetanol. Penelitian ini menggunakan metode penelitian traditional literature review. Sumber data yang digunakan berasal dari google scholar dalam rentang waktu 2017-2022. Kata kunci yang digunakan yaitu konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol dan konversi limbah padat kelapa sawit untuk produksi biohidrogen. Setelah dilakukan screening didapatkan sebanyak 21 artikel yang relevan dan menjadi bahan analisis dalam penelitian ini. Analisa data dilakukan dengan menganalisis jenis limbah yang digunakan serta cara konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioenergi, serta biaya pembuatan bioetanol berdasarkan artikel yang telah di review. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis limbah yang dapat digunakan adalah berupa serat mesocarp, cangkang sawit, tandan kosong, pada proses konversi limbah padat tahapan yang dilakukan adalah pre-treatment, gasifikasi, fermentasi, destilasi, untuk pembuatan biaya bioetanol diperkirakan sebesar \$ 0,46/liter serupa dari etanol dari jagung. Kesimpulan dari literature review ini didapatkan bahwa jenis limbah padat kelapa sawit yaitu tandan kosong kelapa sawit yang dapat dikonversikan menjadi bioenergi. Proses konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol dan biohidrogen dapat melalui beberapa proses dari pre-treatment, gasifikasi, fermentasi dan proses destilasi untuk proses bioetanol sampai adanya hasil akhir yang digunakan yaitu berupa gas yang didapat untuk hasil proses biohidrogen. Biaya dalam pembuatan bioetanol dari opf diperkirakan \$0,46/liter serupa dengan etanol dari jagung.

Kata Kunci: limbah padat, kelapa sawit, bioetanol, biohidrogen.

Abstract

Indonesia has a problem of imbalance in energy use, the majority of which comes from primary energy. Most of the energy supply is still dominated by petroleum. In order to provide alternative energy sources to replace petroleum as the largest energy contributor, the Indonesian government has determined that by 2025 biomass is expected

to be significantly explored. One of the uses of biomass is to convert palm oil into bioethanol and biohydrogen into bioenergy. Focus on the topic of knowing the types of palm oil solid waste for the process of making bioethanol and biohydrogen, how to convert waste and the costs needed to make bioethanol. This study uses the traditional literature review research method. The data source used is from google scholar in 2017 – 2021 timeframe. The keywords used are conversion of palm oil solid waste to bioethanol and conversion of palm oil solid waste to biohydrogen production. After screening, 20 Articles were found that were relevant and became the material for analysis in this study. Data analysis was carried out by analyzing the type of waste used and the conversion method of palm oil solid waste into bioenergy, as well as the cost of making bioethanol based on the articles that have been reviewed. The results showed that the types of waste that can be used are in the form of mesocarp fiber, palm shells, empty bunches, in the solid waste conversion process the stages carried out are pre-treatment, gasification, fermentation, distillation, for the manufacture of bioethanol costs are estimated at \$ 0,46/similar liter of ethanol from corn. The conclusion from this literature review is that the type of palm oil solid waste is oil palm empty fruit bunches that can be converted into bioenergy. The process of converting palm oil solid waste into bioethanol and biohydrogen can go through several processes from pre - treatment, gasification, fermentation and distillation processes for the bioethanol process until the final product used is in the form of gas obtained for the biohydrogen process. The cost of producing bioethanol from OPF is estimated to be \$ 0,46/similar liter to that of ethanol from corn..

Keywords: *solid waste, palm oil, bioethanol, biohydrogen*

Pendahuluan

Indonesia memiliki masalah ketidakseimbangan penggunaan energi yang mayoritas berasal dari energi primer. Sebagian besar pasokan energi masih didominasi oleh minyak bumi (Imansuri, 2019). Biomassa adalah sebuah istilah yang digunakan untuk menyebut semua senyawa organik yang berasal dari tanaman pertanian, alga, dan sampah organik. Biomassa juga dapat dikategorikan menjadi limbah pertanian, limbah kehutanan, tanaman kebun energi, dan limbah organik. Sifat kimia, sifat fisik, kadar air, dan kekuatan mekanis pada berbagai biomassa sangat beragam dan berbeda-beda. Dalam rangka untuk menyediakan sumber energi alternatif pengganti minyak bumi sebagai penyumbang energi terbesar, pemerintah Indonesia telah menetapkan bahwa pada tahun 2025 biomassa diharapkan dapat dieksplorasi secara signifikan.

Salah satu pemanfaatan biomassa adalah dengan mengubah limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol dan biohidrogen menjadi bioenergi. Sumber energi biomassa dapat diperoleh dari sektor kehutanan, sektor perkebunan dan sektor pertanian. Dari sektor perkebunan, salah satu sumber daya biomassa yang mempunyai peran cukup penting dalam kegiatan perekonomian di Indonesia yaitu limbah padat kelapa sawit. Salah satu pengelolaan limbah tersebut adalah dengan menciptakan energi terbarukan yaitu biomassa. Keunggulan biomassa adalah diklaim sebagai bahan bakar ramah lingkungan dan dapat diperbaharui (Hambali & Rivai, 2017).

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yudha & Tjahjono (2019) menunjukkan bahwa masih ditemukan adanya konsumsi energi fosil secara berlebihan dan berpengaruh terhadap konsumsi energi terbarukan. Pemakaian energi di Indonesia masih di dominasi penggunaan energi berbasis fosil terutama bahan bakar minyak bumi dan batu bara (Diah, Dewi, & Suryati, 2018). Apabila dalam waktu dekat tidak ditemukan sumber energi baru yang signifikan pada tahun 2046 mendatang maka kemungkinan di Indonesia akan mengalami defisit energi. Penggunaan energi baru dan

terbarukan harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia, tidak hanya sebagai upaya untuk mengurangi pemakaian energi fosil melainkan juga untuk mewujudkan energi bersih atau ramah lingkungan yaitu energi terbarukan (Gregory Lee, Gommers, Waselewski, Wohlfahrt, & O’Leary, 2019). Hasil tersebut didukung oleh da Silva & de Oliveira Junior (2018) yang menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi, harga bahan bakar fosil, pertumbuhan penduduk, impor secara bersama-sama berpengaruh terhadap konsumsi energi terbarukan.

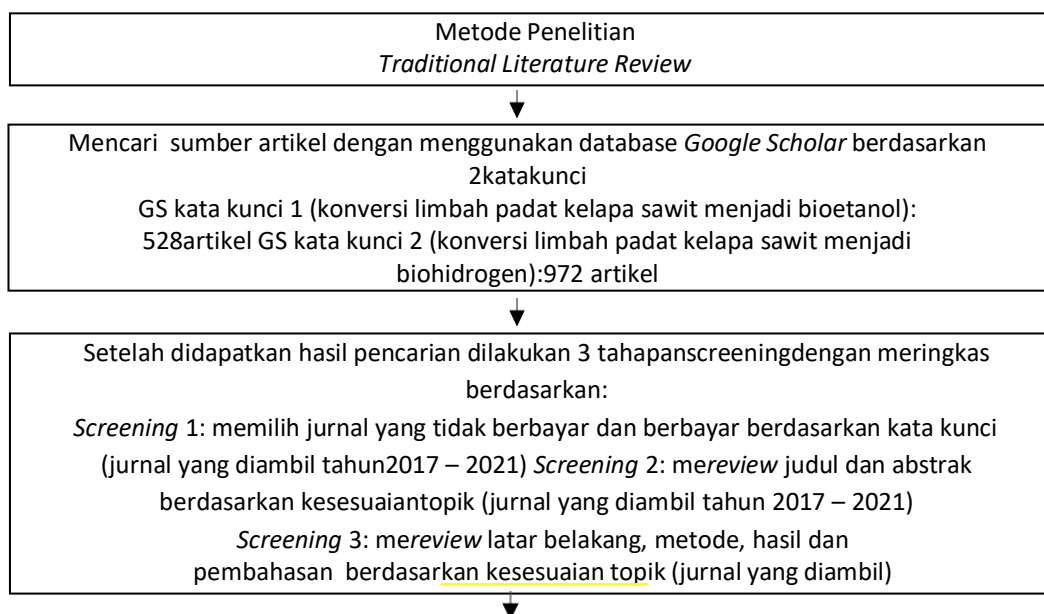
Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sugiharto & Ghozali (2017) menyebutkan konsumsi energi akan terus meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan penduduk dan terbatasnya sumber energi fosil. Sehingga, perlu pengembangan energi terbarukan dan konservasi energi hijau atau energi non fosil dimana bila dikelola dengan baik sumber energi tersebut tidak akan habis.

Dapat diketahui bahwa pentingnya pengembangan pemanfaatan limbah padat kelapa sawit secara baik dengan menciptakan energi pembaruan yang ramah lingkungan agar tidak berdampak buruk bagi kesehatan lingkungan dan sebagai sumber alternatif bahan bakar fosil dengan cara mengkonversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioenergi.

Metode Penelitian

Outline Penelitian

Outline penelitian merupakan prosedur operasional yang menjelaskan tentang rencana penelitian yang meliputi gambaran penelitian, dan rangkaian ide, disusun secara sistematis dan teratur, sebagai berikut.





Gambar 2.1 *Outline Penelitian Literature Review*

Berdasarkan Gambar 2.1 menunjukkan bahwa kata kunci yang diambil pada review artikel dengan kata kunci 1 dan kata kunci 2 yaitu konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol dan konversi limbah padat kelapa sawit menjadi biohidrogen menggunakan metode literature review, pengumpulan data dengan mencari jurnal melalui database google scholar. Kemudian, didapatkan data dengan menggunakan tahap screening jurnal yang telah didapatkan, selanjutnya dilakukan analisis secara review sejajar dengan pengetahuan dengan menggunakan data yang diperoleh sesuai dengan topik yang akan diambil dari penelitian sebelumnya

Prosedur Pengumpulan Data

1. Database dan kata kunci pencarian

Pada penelitian *literature review* ini menggunakan metode *traditional literature review*. Topik yang diambil terkait konversi limbah padat kelapa sawit untuk produksi bioenergi. Pencarian artikel dilakukan pada *database* dengan kata kunci pencarian, sebagai berikut:

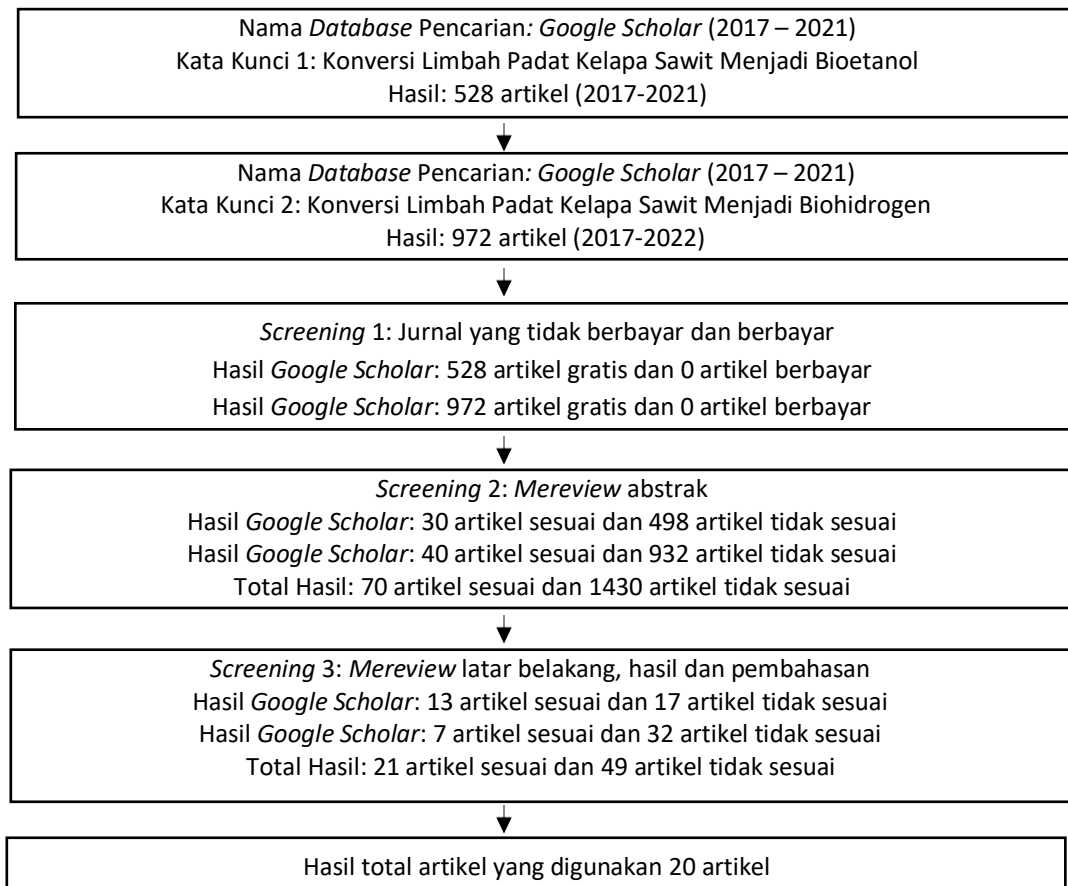
Tabel 2. 1 *Database* dan Kata Kunci Pencarian

<i>Database</i>	Kata Kunci	Rentang Tahun
<i>Google Scholar</i>	Konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol	2017 - 2021
<i>Google Scholar</i>	Konversi limbah padat kelapa sawit menjadi biohidrogen	2017 - 2021

Berdasarkan Tabel 2.1 pencarian artikel dilakukan pada database google scholar. Pencarian dilakukan dengan menggunakan kata kunci konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol dan konversi limbah padat kelapa sawit menjadi biohidrogen pada google scholar, Pencarian dilakukan pada rentang tahun 2017 sampai 2021.

2. Proses pencarian

Bagian ini berisi sistematika pencarian serta hasil akhir keseluruhan artikel berdasarkan proses screening yang telah dilakukan. Format pencarian dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2. 2 Proses Pencarian Artikel

Gambar 2.2 menjelaskan mengenai Tahap proses screening pertama, dilakukan dengan mencari kata kunci dengan kesesuaian topik yang akan diambil dengan rentang jurnal yang digunakan tahun 2017 – 2021 dengan menggunakan 2 kata kunci, kata kunci 1 konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol didapatkan hasil total 528 artikel, kata kunci 2 konversi limbah padat kelapa sawit menjadi biohidrogen didapatkan hasil total 972 artikel. Tahap proses screening kedua, dilakukan dengan review judul hingga abstrak. Pada tahap ini dilakukan dengan melihat judul jurnal yang sesuai dengan topik dengan kata kunci 1 konversi limbah padat kelapa sawit untuk produksi bioenergi didapatkan hasil total 30 artikel dan kata kunci 2 konversi limbah padat kelapa sawit menjadi biohidrogen didapatkan hasil total 40 artikel melihat kesesuaian jurnal peneliti menemukan sebanyak jurnal sesuai judul dan abstrak dari google scholar. Tahap proses screening ketiga, pada tahap ini dilakukan dengan review latar belakang, metode, hasil dan pembahasan dengan menggunakan 2 kata kunci, kata kunci 1 konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol didapatkan hasil total 13 artikel, kata kunci 2 konversi limbah padat kelapa sawit menjadi biohidrogen didapatkan hasil total 8 artikel. Tahap ini peneliti menganalisis jurnal secara menyeluruh guna melihat kesesuaian dengan topik. Ditemukan bahwa dari google scholar sebanyak 20 jurnal yang sesuai dengan kesesuaian topik yang akan diambil. Dari proses screening yang dilakukan melalui tahapan screening 1, screening 2, dan screening 3.

Prosedur Pengolahan Data

Prosedur pengolahan data merupakan tahap mengolah data yang dilakukan setelah data diperoleh dari artikel hasil temuan. Pengolahan data pada traditional literature review menggunakan bukti yang berasal dari penelitian terdahulu berupa artikel jurnal Nasional yang telah dipublikasi. Pengolahan data dilakukan dengan perbandingan analisis. Analisis berfokus pada persamaan antar kasus (method of agreement) atau perbedaan pada kasus yang mirip (method of difference). Pada penelitian ini, akan dicari serta dinarasikan setiap persamaan dan perbedaan dari hasil temuan setiap artikel yang telah didapat sebagai rujukan.

Waktu Penelitian

Waktu penelitian literature review ini ditentukan mulai dari pelaksanaan pencarian artikel literature review sampai seluruh artikel ditemukan dan sampai ujian berakhir.

Tabel 2. 2 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Pencarian jurnal di google scholar																						
2	Analisis dan identifikasi																						

3	Penyusunan proposal Bab 1-2	
4	Seminar pra proposal	
5	Perbaikan proposal	
6	Seminar proposal	
7	Perbaikan proposal	
8	Penyusunan naskah skripsi Bab 3-4	
9	Ujian skripsi	

Hasil dan Pembahasan

Pada proses pencarian artikel, telah didapatkan hasil temuan penelitian yang telah di proses melalui kesesuaian topik dalam literature review. Hasil temuan artikel sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Artikel Hasil Pencarian

No	Lokasi	Metode Penelitian	Temuan Utama	Referensi
1.	Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian dan Agrobisnis Perkebunan Medan	Kualitatif analisa deskriptif	Dari data penelitian yang tersedia, limbah padat kelapa sawit: TKS (Tandan Kelapa Sawit) dan PKS (Pelepah Kelapa Sawit) berpotensi sebagai bahan baku dalam pembuatan bioetanol.	Simanjuntak, A. L. S., <i>et al.</i> (2017).
2.	Politeknik negeri Banjarmasin.	Metode penelitian kualitatif analisa deskriptif	Dalam penelitian ini dilakukan percobaan pretreatment. Hasil fermentasi kemudian Didestilasi untuk menghasilkan etanol.	Suprianto, T. (2016).
3.	Program Studi Kimia,	Metode penelitian kualitatif	Limbah kelapa sawit berupa tandan kosong sawit dapat dimanfaatkan	Nadia, A., <i>et al.</i> (2017).

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat Jl. A. Yani Km. analisa deskriptif sebagai sumber selulosa dan hemiselulosa yang dapat dikonversi lebih lanjut menjadi bioetanol generasi dua pengganti bahan bakar minyak dan xylitol sebagai pemanis rendah kalori pengganti gula

No	Lokasi	Metode Penelitian	Temuan Utama	Referensi
	35,8, Banjar baru70714, Kalimantan Selatan, Indonesia.		tebu	
4.	Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).	Metode penelitian kuantitatif analisa deskriptif	Bioetanol yang diproduksi berasal dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS), yang merupakan biofuel generasi kedua. Proses produksi bioetanolini terdiri dari tiga unit proses.	Haniati, M., <i>et al.</i> (2021).
5.	Tarjun Kalimantan Selatan.	Metode penelitian kuantitatif analisa deskriptif	Besarnya Capital Investment dan biaya produksi bioethanol berbahan baku lignoselulosa seperti TKKS menjadi penghambat produksi bioethanol. Untuk mengatasi permasalahan tersebutdiperlukan pra-rancangan pabrik <i>Fuel Grade Ethanol</i> (FGE) dengan konfigurasi proses yang ekonomis berkapasitas 2500 Ton/Hari TKKS kering.	Ukhrawi, S. M. a. P., <i>et al.</i> (2021).

6.	Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Pusat Penelitian Kimia – LIPI, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong.	Metode penelitian kuantitatif analisa deskriptif	Konversi lignoselulosa Sapatra, D. dari TKKS bioetanol R., et al. proses menjadi (2018). diperlukan pretreatment.	
7.	Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik,	Metode penelitian kuantitatif analisa	Salah satu bahan baku Ahmad, A., yang berpotensi untuk <i>et al.</i> (2020). diubah menjadibioetanol adalah pelepah kelapa	
No	Lokasi	Metode Penelitian	Temuan Utama	Referensi
	Universitas Riau, Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293.	deskriptif	sawit.	
8.	Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang Jl. Kapten A. Rivai No 92/1975 Palembang.	Metode penelitian kuantitatif analisa deskriptif	Rekayasa glukosa dari tandan kosong kelapa sawit yang difermentasi dengan <i>S.cerevisiae</i> berdasarkan hasil percobaan dapat memotong rantai karbon glukosa menjadi bioetanol dan gas karbon dioksida.	Atrinto, A. (2017).
9.	Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Jl. Raya Inderalaya Prabumulih KM. 32 Inderalaya.	Metode penelitian kuantitatif analisa deskriptif	Penelitian ini mengkonversikan sabut kelapa menjadi Bioetanol dengan menggunakan larutan asam (H ₂ SO ₄ dan CH ₃ COOH) pada proses pretreatment dengan variasi konsentrasi berbeda.	Jannah, A. M. and T. Aziz (2017).

10.	Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia	Metode penelitian kuantitatif analisa deskriptif	Tinjauan mengevaluasi penggunaan teknologi torrefaction untuk meningkatkan karakteristik bahan bakar dari limbah kelapa sawit.	ini Sukiran, M. A., <i>et al.</i> (2017).
11.	Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman Jl. Kuaro, Samarinda 75119,	Metode penelitian kuantitatif analisa deskriptif	Meningkatnya limbah biomassa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi	Febriyanti, F., <i>et al.</i> (2019).

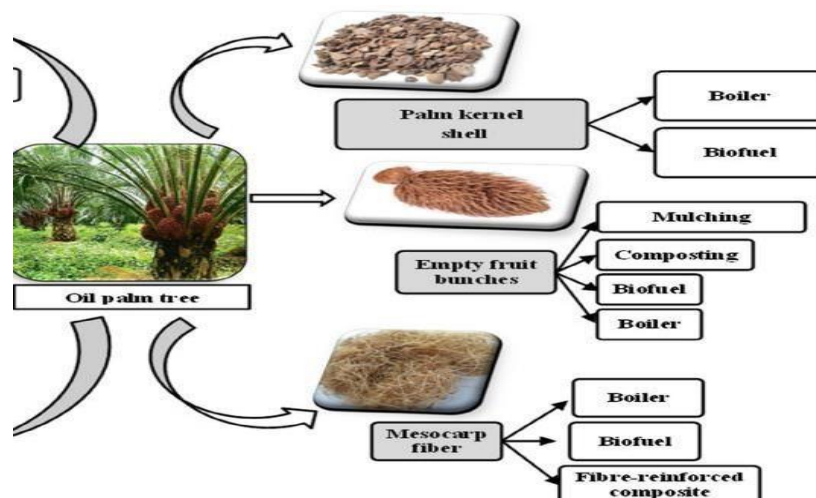
No	Lokasi	Metode Penelitian	Temuan Utama	Referensi
	Kalimantan Timur, Indonesia		masalah tersebut yaitu teknologi pirolisis	
12.	Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.	Metode penelitian kuantitatif deskriptif	meningkat digunakan cangkang sawit sebagai bahan bakar yang berasal dari Medan. mengkondisikan kadar air biomassa cangkang sawit sesuai kandungan air di lapangan yaitu setelah melalui proses produksi.	Myzhar, R. and D. H. Sutjahjo (2019).

13.	1. Jurusan Kimia, Fakultas Ilmu Pengetahuan, Universitas Indonesia, Indonesia 2. Pusat Sumber Daya Energi dan Teknologi Industri Kimia, BPPT, Indonesia 3. Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal, Jakarta, Indonesia	Metode penelitian kuantitatif deskriptif	TKKS Berpotensi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan biohidrogen, salah satu dari berbagai bentuk bioenergi.	Diah, K., <i>et al.</i> (2018)
14	Pusat Teknologi Lingkungan-BPPT.	Metode penelitian kuantitatif deskriptif	Selulosa dan hemiselulosa merupakan senyawa yang paling banyak menghasilkan hidrogen dalam proses gasifikasi biomassa.	Prasetyadi, P. (2020).
15	Laboratorium Kimia, UPT Laboratorium Terpadu, Universitas	Metode penelitian kuantitatif deskriptif	Potensi abu tandan kosong sawit (ATKS) sebagai sumber katalis basa untuk produksi hidrogen dari hidrolisis	Khairi, S., <i>et al.</i> (2021).
No	Lokasi	Metode Penelitian	Temuan Utama	Referensi
	Tanjungpura, Pontianak		air dengan aluminium (Al) menggunakan handmade reactor.	
16	Pusat Teknologi Pengembangan Sumber daya Energi, Jakarta	Metode penelitian kuantitatif observasi	Pada penelitian ini limbahlimbah kelapa sawit yang disubstitusi dengan gliserol adalah difermentasi menggunakan Enterobacter Aerogens ADH43 untuk menghasilkan bio-H ₂ .	Febijanto, I., <i>et al.</i> (2011).

17	Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura	Studi literatur	pemanfaatan cangkang dan biomassa pengolahan Kelapa Sawit untuk digunakan sebagai bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	limbah serat hasil Pabrik (PKS)	Nadhif, I. (2021)
18	Fakultas Teknik, Universitas Riau Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293	Metode separate hydrolysis and fermentation (SHF).	Pengaruh konsentrasi H ₂ SO ₄ terhadap hidrolisis glukosa dan waktu optimum produksi bioetanol.	Adrianto Ahmad, <i>et al.</i> (2012)	
19	Trang Palm Oil Industry Co., Ltd. (Trang, Thailand)	Response Surface Methodology (RSM)	Produksi bioetanol dari TKKS memiliki tiga tahapan yaitu pretreatment, hidrolisis, dan fermentasi.	Sukhang, S., <i>et al.</i> (2020)	
20	Sekolah Teknik dan Manajemen Industri, Institut Teknologi KTH Royal Brinellvägen Swedia	Metode analisis kualitatif	Produksi biodiesel dari pabrik kelapa sawit di unit tersebut layak secara ekonomi karena periode pengembalian 5,7 tahun kurang darisepertiga dari waktu	Fumi Harahap, <i>et al.</i> (2019)	

1. Jenis limbah padat kelapa sawit yang berpotensi dapat dikonversikan menjadi bioenergi

Limbah padat kelapa sawit dapat dihasilkan dari kegiatan penggilingan kelapa sawit dan perkebunan kelapa sawit. TKKS (tandang kosong kelapa sawit), PKS (pabrik kelapa sawit), sebagian besar diproduksi selama proses penggilingan, sedangkan OPF (oil palm fruit) sebagian besar berasal dari perkebunan. TKKS merupakan biomassa yang paling melimpah dan tersedia yang dihasilkan dari industri kelapa sawit sepanjang tahun. Volume sampah organik yang cukup besar ini, yang diproduksi secara terus menerus, memerlukan prosedur pembuangan yang efektif yang disesuaikan dengan sifat produk sampingan. Energi biomassa adalah energi yang bersumber dari sumber alami yang dapat diperbaharui. Biomassa dapat berbentuk cair, padat, gas. Bahan yang digunakan pada review ini adalah berasal dari limbah padat kelapa sawit yaitu tandan kosong kelapa sawit, serat mesokarp, cangkang inti sawit, batang kelapa sawit sebagai bahan baku pembuatan bioetanol.



Gambar 3.1 Gambaran Jenis Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Proses Konversi

2. Cara konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol dan biohidrogen

Terjadinya krisis energi minyak global disebabkan oleh ketidakseimbangan antara pemasukan serta konsumsi minyak bumi di Indonesia. Untuk menanggulangi ketidakseimbangan hal tersebut konversi sampah organik dan biomassa menjadi bahan bakar dapat menjadi solusi yang tepat sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan. Seperti halnya limbah kelapa sawit yang dikonversi menjadi bioetanol dan biohidrogen. Etanol dapat diproduksi melalui beberapa cara, yaitu secara kimiawi dengan bahan baku dari bahan bakar fosil atau melalui proses biologi dengan cara fermentasi gula yang hasilnya berupa bioetanol. Minat dunia dalam menggunakan bioetanol sebagai energi alternatif telah mendorong penelitian yang berkaitan dengan efisiensi biaya dan proses produksi. Etanol dilaporkan dapat menghasilkan paling sedikit 20% energi lebih tinggi dibandingkan dengan energi yang digunakan dalam proses produksinya. Selain itu, proses produksi dan pembakaran etanol dapat menurunkan 12% gas rumah kaca dibandingkan dengan bahan bakar fosil (Hill, Carr, Burdette, & Dowd-Arrow, 2020). Pada proses konversi ini terbagi menjadi 4 proses pada tahapan konversi pembuatan bioetanol. Pada proses pertama pembuatan bioetanol dilakukan tahapan Pre-treatment dimana proses ini dilakukan untuk menghilangkan lignin yang terkandung didalamnya TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit). Pre-treatment dalam proses bioetanol sering disebut dengan proses delignifikasi yang merupakan suatu elemen penting dalam biokonversi substrat lignocelulose. Adanya lignin dan hemiselulosa menyebabkan selulosa sulit untuk dihidrolisa. Oleh karena itu, perlu dilakukan Pre-treatment untuk removal lignin dan hemiselulosa. Tujuan dari Pre-treatment adalah untuk membuka struktur lignocelulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polymer polisakarida menjadi monomer gula. Selanjutnya Proses hidrolisa dilakukan untuk mengubah selulosa dari tandan kosong kelapa sawit menjadi glukosa. Selain itu, metode ini tidak memerlukan pretreatment bahan baku yang lama untuk siap dihidrolisa sehingga dapat menekan tingginya biaya produksi. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap hidrolisis antara lain waktu hidrolisis, ukuran partikel, konsentrasi katalis (asam). Selanjutnya dilakukan tahap fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* untuk melakukan fermentasi.. Fermentasi didefinisikan sebagai suatu proses untuk mengubah

molekul glukosa menjadi etanol atau lebih dikenal dengan istilah bioetanol (alkohol) dengan menggunakan mikroorganisme ragi. fermentasi untuk Beberapa jenis mikroorganisme yang terdapat dalam ragi adalah *Chlamydomucor oryzae*, *Rhizopus oryzae*, *Mucor sp.*, *Candida sp.*, *Saccharomyces cerevicae*, *Saccharomyces verdomanii*, dan lain-lain. Fermentasi ini selain menghasilkan etanol juga menghasilkan zat lain yaitu karbondioksida. Fermentasi alkohol merupakan proses pembuatan alkohol dengan memanfaatkan aktivitas yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). Proses fermentasi etanol ini dilakukan secara anaerob, yaitu mengubah glukosa menjadi alkohol tanpa adanya oksigen tetapi dalam pembuatan starter dibutuhkan suasana aerob dimana oksigen diperlukan untuk pembiakan sel.

Kemudian dilakukan tahapan akhir yaitu proses pemurnian bioetanol atau disebut Destilasi memiliki tujuan untuk memisahkan bioetanol dari pengotor dan air sehingga terbentuk produk akhir bioetanol dengan kemurnian tinggi, yaitu 99,5% atau fuel grade. Hasil dari proses akhir ini kemudian disimpan di tangki penyimpanan bioetanol pada suhu ruangan tertentu. Setelah proses bioetanol selesai selanjutnya yakni proses pembuatan biohidrogen yang memiliki langkah sedikit berbeda yang dimana biohidrogen diproses melalui beberapa proses diantaranya fotosintesis, fermentasi hingga biohidrogen digunakan sebagai bahan bakar atau bioenergi lainnya. Secara rinci dijelaskan bahwa proses pembuatan biohidrogen ini membutuhkan bakteri atau mikroba penghasil gas hidrogen. Mikroba yang digunakan sama dengan milik bioetanol yakni bakteri anaerob atau proses anaerob dan mikroba fotosintetik. Gas hidrogen diproduksi oleh bakteri fotosintetik melalui proses fotofermentasi/fotosistem. Kemudian fermentasi yang digunakan fermentasi aerobik dan anaerobik. Setelah ini gas hidrogen berhasil diproduksi dan siap digunakan untuk bahan bioenergi lain dan atau digunakan untuk fuel cell atau sel bahan bakar. Selain melalui proses di atas ada pula proses pembuatan atau produksi biohidrogen ini melalui proses gasifikasi biomassa yang dimana proses ini merupakan proses konversi termokimia bahan bakar. Dari hasil percobaan gasifikasi akan dihasilkan biohidrogen yang terbentuk.

3. Biaya pembuatan bioetanol

Biaya produksi gula yang dapat d ifermentasi Seperti yang dilaporkan oleh Zahari et al. (2014), total biaya produksi energi terbarukan gula dari OPF terutama disumbangkan oleh biaya bahan baku (OPF), biaya transportasi, pemanenan dan pengumpulan OPF dari perkebunan kelapa sawit ke pabrik, biaya pra-pemrosesan dan biaya enzim yang digunakan untuk sakarifikasi serat OPF. Semua biaya yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan situasi saat ini di Malaysia dan dinilai dalam Dolar AS (\$). Biaya transportasi pelepah kelapa sawit ke pabrik kelapa sawit Perkiraan biaya saat ini, berdasarkan kepadatan produk dan jarak diangkut, berkisar antara \$0,2 hingga 2,99 per kilometer per ton (MIA, 2022). Namun, perkiraan ini didasarkan pada transportasi jalan dengan truk, dan biaya transportasi yang sebenarnya dapat lebih rendah di daerah di mana transportasi dengan kereta api dan/atau tongkang memungkinkan, dan di mana biaya dapat dibagi dengan kargo kembali. Harga petiole OPF segar Untuk tujuan menilai kelayakan ekonomi mobilisasi, volume biomassa kelapa sawit harus dimobilisasi dengan biaya rata-rata kurang dari \$47 per ton pada gerbang pabrik (Wineinger, 2021). Mengurangi \$20 untuk biaya panen, pengumpulan dan transportasi OPF, para petani akan mendapatkan sekitar \$27 per ton dari OPF yang dikumpulkan. Biaya pra-pemrosesan Jenis biomassa yang berbeda dapat menjalani berbagai bentuk pra-pemrosesan untuk mengurangi kadar air, mengurangi berat atau volume yang akan diangkut dan/atau di 83 persiapan untuk penggunaan akhir tertentu. Tergantung pada jenis biomassa dan luasnya

diperlukan pra-pemrosesan, perkiraan biaya berkisar antara \$5,08-164,35 per ton untuk serat mesocarp, pelepah, batang dan TKKS (Voelkl et al., 2013). Dengan akuntansi pengeringan untuk sebagian besar biaya pra-pemrosesan, kemungkinan besar perkebunan dan industri hilir akan mengeksplorasi skenario yang tidak memerlukan biomassa untuk dikeringkan. Karena OPF segar digunakan dalam studi kasus ini, tidak diperlukan proses pengeringan. Oleh karena itu, biaya pra-pemrosesan diperkirakan sebesar \$5/t OPF (Zahari, Badri, Ardyananta, Kurniawan, & Nor, 2015).

Biaya enzim untuk sakarifikasi Saat ini, perkiraan biaya enzim adalah \$0,04 hingga 0,07/kg glukosa (Zahari et al., 2015). Sebagai dasar perhitungan, biaya enzim untuk sakarifikasi serat OPF untuk mendapatkan gula yang dapat difermentasi (glukosa dan xilosa) diperkirakan \$20/t serat OPF diproses (Keat Teong Lee & Ofori-Boateng, 2013). Utilitas dan biaya listrik Pada dasarnya air, uap dan listrik adalah utilitas yang dibutuhkan dalam produksi gula dari OPF. Namun, dalam penelitian ini biaya utilitas dapat dikecualikan dengan asumsi bahwa energi dan utilitas yang dibutuhkan akan diperoleh dari energi surplus di pabrik kelapa sawit yang ada, Setelah keseimbangan massa dan energi untuk proses produksi bioetanol telah diperkirakan, biaya produksi dapat ditentukan. Sebagai dasar perhitungan, data untuk estimasi biaya diambil dari bioetanol generasi pertama dari tebu, yang dilaporkan oleh (Macrelli, Mogensen, & Zacchi, 2012). Produksi bioetanol menggunakan fermentable gula dari OPF karena kemampuan ragi untuk mengkonsumsi glukosa dan xilosa secara maksimal sesuai dengan 82,4% dari hasil teoritis (Takano, Takahashi, & Matsushita, 2022). Proyek diasumsikan beroperasi selama 10 tahun mempertimbangkan biaya modal tetap, biaya produksi dan pendapatan. Biaya modal tetap terdiri dari biaya peralatan untuk pabrik produksi bioetanol termasuk biaya untuk instalasi, perpipaan dan instrumentasi, biaya peralatan OPF. Biaya produksi diperkirakan berdasarkan biaya operasi dan pemeliharaan tahunan tidak termasuk biaya modal per kapasitas produksi bioetanol tahunan. Di sisi lain tangan, biaya operasi dan pemeliharaan tahunan termasuk gaji untuk manajer pabrik, insinyur dan operator; energi dan utilitas; perbaikan dan pemeliharaan; gula yang dapat difermentasi dari OPF bahan kimia dan ragi. Biaya tenaga kerja diperkirakan berdasarkan sembilan nomor: pekerja sesuai tingkat gaji saat ini yang ditetapkan oleh Suruhanjaya Perkhidmatan Awam Malaysia (Bartels et al., 2014). Biaya produksi bioetanol dari OPF Sekitar 57.000 ton atau setara dengan 73,7 juta liter bioetanol per tahun dapat diproduksi dari 345.600 ton OPF segar. Biaya produksi bioetanol breakdown terdiri dari dua input utama yaitu biaya modal serta operasi dan biaya pemeliharaan. Biaya peralatan meliputi bioreaktor, unit Biaya produksi bioetanol dari OPF diperkirakan \$0,46/liter, serupa dengan etanol dari jagung dan lebih rendah dari SGB. Karena TKKS juga kelapa sawit yang melimpah biomassa dan dapat dengan mudah diperoleh di pabrik kelapa sawit setelah ekstraksi minyak, bioetanol biaya produksi juga dibandingkan. Quintero dkk. (2013) melaporkan bioetanol biaya produksi dari EFB sebesar \$0,49/liter yang sedikit lebih tinggi dari OPF. Produksi biaya etanol di Brasil adalah yang terendah di dunia dengan biaya produksi rata-rata sekitar \$0,165 per liter, menurut Industri Tebu Brasil Asosiasi (UNICA). Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap daya saing Brasil meliputi: kondisi iklim yang menguntungkan, biaya tenaga kerja yang rendah, dan infrastruktur yang matang dibangun di atas setidaknya tiga dekade (Voelzke, Xavier, & Ferreira, 2022). Etanol Brasil dengan kogenerasi terlampir fasilitas telah terbukti secara konsisten menghasilkan biaya produksi yang lebih rendah daripada produk minyak bumi yang sesuai, meskipun ini sangat tergantung pada net biaya produksi karena kredit co-produk listrik (Chowdhury & Loganathan, 2019).

Perspektif dan Rekomendasi

Ketersediaan TKS dan PKS yang melimpah di Indonesia hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal dan komersial. Berdasarkan kandungan kimia TKS dan PKS, material tersebut dapat digunakan untuk biokonversi bioetanol G2. Potensi pengembangan TKS dan PKS sebagai bioetanol G2, menghadapi kendala diantaranya adalah teknologi yang belum mendukung, harga bioetanol yang lebih mahal dibanding BBM sehingga tidak dapat bersaing dan masih minim. Oleh karena itu, perlu adanya dukungan dari berbagai pihak baik pemerintah, masyarakat, dan lembaga penelitian agar potensi TKS dan PKS dapat dikembangkan secara signifikan. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, ketersediaan limbah cangkang dan serat masih berdasarkan nilai asumsi kapasitas. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui potensi limbah cangkang dan serat eksisting. Perhitungan biaya pokok produksi (BPP) dapat dianalisis dengan menambahkan biaya transportasi dari lokasi potensi limbah menuju pusat pembangkitan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan efektifitas pembakaran ketika menggunakan bahan bakar cangkang dan serat, serta efek yang ditimbulkan dari proses pembakaran kedua bahan bakar tersebut

Kesimpulan

Berdasarkan literature review yang telah dijelaskan, maka terdapat simpulan sebagai berikut:

1. Jenis limbah padat kelapa sawit yaitu tandan kosong kelapa sawit, serat mesokarp, cangkang inti sawit, batang kelapa sawit yang dapat dikonversikan menjadi bioenergi.
2. Proses konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bioetanol dan biohidrogen melalui beberapa proses dari pre-treatment, gasifikasi, fermentasi dan proses distilasi.
3. Analisis aliran bahan dan keseimbangan energi menunjukkan bahwa bioetanol terintegrasi pabrik ke PKS yang ada layak untuk dilakukan. Teknologi tidak menghasilkan kebutuhan energi dan utilitas tambahan untuk memulihkan jus OPF serta untuk produksi bioetanol. Biaya produksi bioetanol rendah dari OPF sebesar \$0,46/liter adalah mirip dengan biaya produksi bioetanol jagung, memberikan janji yang baik dari komersialisasi dalam waktu dekat. Pemerintah harus mengambil langkah untuk membawa agenda ini menjadi kenyataan dengan memperkenalkan kebijakan bioetanol generasi kedua. Sebagai klaster industri kelapa sawit paling menarik di dunia

BIBLIOGRAFI

- Bartels, Mette Damkjær, Petersen, Andreas, Worning, Peder, Nielsen, Jesper Boye, Larner-Svensson, Hanna, Johansen, Helle Krogh, Andersen, Leif Percival, Jarløv, Jens Otto, Boye, Kit, & Larsen, Anders Rhod. (2014). Comparing whole-genome sequencing with Sanger sequencing for spa typing of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal of Clinical Microbiology*, 52(12), 4305–4308.
- Chowdhury, Harun, & Loganathan, Bavin. (2019). Third-generation biofuels from microalgae: a review. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 20, 39–44.
- Diah, Permatasari, Dewi, Sartika, & Suryati, Suryati. (2018). Penerapan Metode AHP dan SAW untuk Penentuan Kenaikan Jabatan Karyawan. *JATISI (Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi)*, 5(1), 60–73.
- Hambali, E., & Rivai, M. (2017). The potential of palm oil waste biomass in Indonesia in

- 2020 and 2030. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 65(1), 12050. IOP Publishing.
- Hill, Terrence D., Carr, Dawn C., Burdette, Amy M., & Dowd-Arrow, Benjamin. (2020). Life-course religious attendance and cognitive functioning in later life. *Research on Aging*, 42(7–8), 217–225.
- Imansuri, Febriza. (2019). Perancangan JIG Dan Fixture Pada Proses Freis Dan Gurdi Untuk Memproduksi Komponen Base Plate. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen*, 17(2).
- Lee, Gregory, Gommers, Ralf, Waselewski, Filip, Wohlfahrt, Kai, & O’Leary, Aaron. (2019). PyWavelets: A Python package for wavelet analysis. *Journal of Open Source Software*, 4(36), 1237.
- Lee, Keat Teong, & Ofori-Boateng, Cynthia. (2013). Environmental sustainability assessment of biofuel production from oil palm biomass. In *Sustainability of Biofuel Production from Oil Palm Biomass* (pp. 149–187). Springer.
- Macrelli, Stefano, Mogensen, Johan, & Zacchi, Guido. (2012). Techno-economic evaluation of 2nd generation bioethanol production from sugar cane bagasse and leaves integrated with the sugar-based ethanol process. *Biotechnology for Biofuels*, 5(1), 1–18.
- MIA, NURKHOFIFAH. (2022). *STANDAR ISI, BAHASA, DAN PENYAJIAN BUKU TEMATIK TERBITAN MEDIATAMA TEMA 7 INDAHNYA KERAGAMAN DI NEGERIKU SERI HOTS KELAS IV KURIKULUM 2013*. Universitas Mataram.
- Takano, Atsushi, Takahashi, Yoshiaki, & Matsushita, Yushu. (2022). Terminal relaxation behavior of entangled linear polymers blended with ring and dumbbell-shaped polymers in melts. *Rheologica Acta*, 61(10), 681–688.
- Voelkl, Jakob, Alesutan, Ioana, Leibrock, Christina B., Quintanilla-Martinez, Leticia, Kuhn, Volker, Feger, Martina, Mia, Sobuj, Ahmed, Mohamed S. E., Rosenblatt, Kevin P., & Kuro-o, Makoto. (2013). Spironolactone ameliorates PIT1-dependent vascular osteoinduction in klotho-hypomorphic mice. *The Journal of Clinical Investigation*, 123(2).
- Voelzke, Marcos Rincon, Xavier, Bruno, & Ferreira, O. R. (2022). Voices that Come out of the Hands: Astronomy for the Deaf. *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, 54, 114–117.
- Wineinger, Catherine. (2021). How can a black woman be a Republican? An intersectional analysis of identity claims in the 2014 Mia Love campaign. *Politics, Groups, and Identities*, 9(3), 566–588.
- Zahari, W. Z. W., Badri, RNRL, Ardyananta, H., Kurniawan, Denni, & Nor, F. M. (2015). Mechanical properties and water absorption behavior of polypropylene/ijuk fiber composite by using silane treatment. *Procedia Manufacturing*, 2, 573–578.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.