

LAPORAN

**Komposisi Empty Fruit Bunch Fiber, Biogas dan Mesocarp Fiber Sebagai Energi
Terbarukan Pengganti Palm Kernel Shell Pada Industri Kelapa Sawit**

TIM PENELITIAN

Annisa Bhikuning, S.T., M.Eng, Ph.D.
Sandi Apriandi Setiawan

(0302067801)
161012300002

Ketua
Anggota



MAGISTER TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
UNIVERSITAS TRISAKTI
2024/2025



**LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN
TAHUN AKADEMIK 2024/2025
0891/FTI/2024-2025**

- 1. Judul Penelitian** : Komposisi Empty Fruit Bunch Fiber, Biogas dan Mesocarp Fiber
: Sebagai Energi Terbarukan Pengganti Palm Kernel Shell Pada Industri Kelapa Sawit
- 2. Skema Penelitian** : [onshow.skema_penelitian_name]
- 3. Ketua Tim Pengusul**
- a. Nama : Annisa Bhikuning, S.T., M.Eng, Ph.D.
 - b. NIDN : 0302067801
 - c. Jabatan/Golongan : Lektor/III-C
 - d. Program Studi : MAGISTER TEKNIK MESIN
 - e. Perguruan Tinggi : Universitas Trisakti
 - f. Bidang Keahlian : Konversi Energi
The Icon Simplicity
Jl.Simplicity 3 Blok A5/73
BSD City Tangerang Selatan 15345
 - g. Alamat Kantor/Telp/Fak/surel : Banten
-
annisabhi@trisakti.ac.id
- 4. Anggota Tim Pengusul**
- a. Jumlah anggota : Dosen 0 orang
 - b. Jumlah mahasiswa yang terlibat : 1 orang
 - c. Jumlah alumni yang terlibat : 0 orang
 - d. Jumlah laboran/admin : 0 orang
- 5. Waktu Penelitian**
- Bulan/Tahun Mulai : Maret 2024
 - Bulan/Tahun Selesai : Desember 2024
- 6. Luaran yang dihasilkan** : • Artikel Ilmiah
- 7. Biaya Total** : Rp0,-
()

Dekan



Prof. Dr. Ir. Rianti Dewi Wulansari, S.T., M.Eng. IPM

NIDN: 0317107101

Jakarta, 07 Maret 2025

Ketua Tim Pengusul



Annisa Bhikuning, S.T., M.Eng, Ph.D.

NIDN: 0302067801

Direktur



Prof. Dr. Ir. Astri Rinanti, M.T., IPM., ASEAN Eng.

NIDN: 0308097001

IDENTITAS PENELITIAN

Skema Penelitian	: [onshow.skema_penelitian_name]
Judul Penelitian	: Komposisi Empty Fruit Bunch Fiber, Biogas dan Mesocarp Fiber Sebagai Energi Terbarukan Pengganti Palm Kernel Shell Pada Industri Kelapa Sawit
Fokus Penelitian	: Green Energy
Rumpun Penelitian	: Green Engineering/ Technology
Mata Kuliah yang terkait	: Motor Bakar Hemat Energi
Topik Pengabdian kepada Masyarakat yang terkait	: Pendidikan dan penyuluhan limbah kelapa sawit menjadi bahan bakar baru terbarukan

Tim Peneliti

Peneliti	NIK/ NIM	Posisi	Status	Program Studi	Fakultas
Annisa Bhikuning, S.T., M.Eng, Ph.D.	2660	Ketua	Dosen Universitas Trisakti	MAGISTE R TEKNIK MESIN	FTI
Sandi Apriandi Setiawan	16101230 0002	Anggota	Mahasiswa Universitas Trisakti	MAGISTE R TEKNIK MESIN	FTI

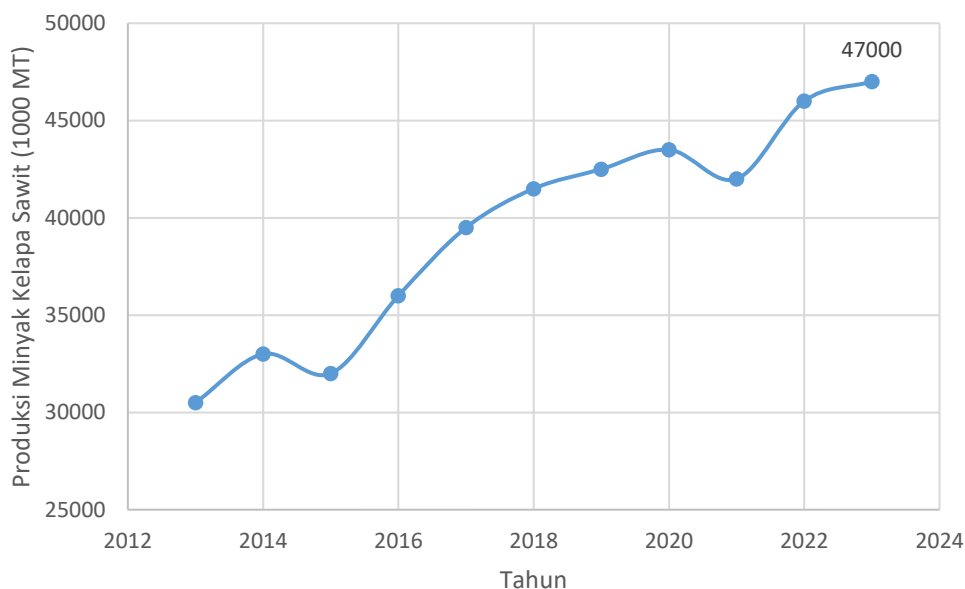
Lokasi dan atau Tempat Penelitian	: Jl. Kyai Tapa No.1 , Grogol, Grogol Petamburan, Jakarta Barat, Dki Jakarta
Masa Penelitian	
Mulai	: Maret 2024
Berakhir	: Desember 2024
Dana diusulkan	: Rp0,-
Sumber Pendanaan	: 5.2.03.08.01
Target Kesiapterapan Teknologi	: TKT 2
Produk Inovasi	:
Luaran	: Artikel Ilmiah

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara terbesar yang memproduksi minyak sawit dunia dengan persentase 59% dari total produksi dunia [1]. Produksi minyak kelapa sawit Indonesia akan terus meningkat dari tahun ke tahun. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 dimana rata-rata kenaikan produksi minyak kelapa sawit dari tahun 2013 sampai dengan 2023 sebesar 4,7% [2].



Gambar 1. Perkembangan produksi minyak kelapa sawit Indonesia[2]

Peningkatan produksi tersebut berdampak pada peningkatan volume limbah yang dihasilkan. Volume limbah tersebut harus ditangani dengan tepat untuk mereduksi dampak negatif pada lingkungan[3]. Limbah yang dihasilkan dari pengolahan pabrik kelapa sawit yaitu *palm oil mill effluent (POME)*, *mesocarp fiber*, *palm kernel shell* dan *empty fruit bunch* [4]. Semua limbah hasil pengolahan pabrik kelapa sawit sudah diolah dan dipergunakan kembali baik sebagai sumber energi maupun sebagai pupuk organik [3].

Perkembangan energi terbarukan di dunia semakin berkembang dimana salah satu sumber energi terbarukan yang diminati oleh beberapa negara yaitu *palm kernel shell*. Hal tersebut dapat dilihat dengan adanya kontrak dagang *palm kernel shell* antara Indonesia dan Jepang dengan nilai USD 138,2 Juta[5]. Kontrak dagang tersebut membuat harga *palm kernel shell* meningkat dimana *palm kernel shell* sudah bukan merupakan limbah padatan tetapi menjadi produk samping yang memiliki nilai jual cukup tinggi. Secara umum bahan bakar *Boiler* di industri kelapa sawit yaitu campuran dari *palm kernel shell* dan *mesocarp fiber*. Berdasarkan jurnal review, *empty fruit bunch fiber* dan *biogas* hasil pengolahan *palm oil mill effluent (POME)* menjadi limbah yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar *Boiler* pengganti *palm kernel shell* [3].

Boiler adalah mesin pembangkit uap yaitu yang terdiri dari *economizer*, ketel, pemanas lanjut dan pemanas udara awal. Sebagai tambahan sistem ini, khususnya *Boiler* dengan menggunakan bahan bakar biomassa, mempunyai berbagai perlengkapan lainnya seperti ruang bakar, fan, perlengkapan pengendali emisi, cerobong, dan peralatan penanganan abu. Ketel adalah bagian dari pembangkit uap dimana air jenuh diubah mejadi uap jenuh [6]. Performa *Boiler* dapat dilihat dari efisiensi *Boiler* dan gas emisi yang dihasilkan. Efisiensi *Boiler* dapat dihitung menggunakan metode langsung maupun tidak langsung. Metode langsung merupakan metode yang

membandingkan antara energi yang didapat dari fluida kerja dan energi yang terkandung dalam bahan bakar. Metode tidak langsung dikenal sebagai metode kehilangan panas dimana efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan panas dan energi yang masuk ke dalam *Boiler* yang mengikuti ASME PTC 4.[7].

Pada penelitian ini akan melakukan analisa terhadap alternatif pengganti *Palm Kernel Shell* di Industri yang menggunakan boiler yaitu *Empty Fruit Bunch Fiber*, Biogas dan Mesocarp Fiber. Sehingga limbah dari *Empy Fruit Bunch* dapat dikurangi dan dapat dijadikan bahan bakar alternatif pengganti *Palm Kernel Shell*.

2. Studi literatur

Penelitian mengenai Empty fruit bunch fiber telah dilakukan oleh para peneliti internasional sebelumnya [8,9]. Empty fruit bunch (EFB) fiber adalah tandan buah kosong pada kelapa sawit dan merupakan salah satu limbah dari kelapa sawit [10]. Penelitian mengenai EFB telah dilakukan yaitu analisa dan optimalisasi pemanfaatan serat, cangkang, dan EFB fiber dengan menyesuaikan kandungan dari bahan tersebut dan mengevaluasi produksi CO₂. Hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi terbaik untuk meminimalkan CO₂ pada pembangkit listrik tenaga biomassa adalah dengan menggunakan 70% serat, 0% cangkang, dan 30% EFB fiber [11]. Selain itu, Analisa karakteristik EFB untuk kegunaan co-firing telah dilakukan dan hasilnya adalah Biopellet dari EFB atau tandan buah kosong mengandung 48,53% C, 6,05% H, 0,32% N, 36,8% O, dan 0,08% Sulfur. Sedangkan nilai kalor biopellet EFB sebesar 4,583 kkal/kg[12].

Penelitian mengenai analisa efisiensi water tube boiler berbahan bakar fiber dan cangkang di palm oil mill kapasitas 60 Ton TBS/Jam telah dilakukan. Bahan bakar yang digunakan adalah 75% serat dan 25% cangkang. Hasil yang didapat adalah nilai kalornya sebesar 21078,48 kJ/kg, dan nilai efisiensi boiler tertinggi adalah 54,7% [13]. Selain itu penelitian mengenai analisa efisiensi water tube boiler berbahan bakar serat dan cangkang telah dilakukan dengan komposisi 70% serat dan 30% cangkang. Hasil yang didapat adalah nilai kalori dari 70% serat dan 30% cangkang adalah 4604,7Cal/g. Efisiensi boiler yang didapat untuk 100% cangkang adalah 53,9% dan 100% serat adalah 51% [14]. Selain itu penelitian mengenai komposisi dari 100% Serat, 75% Serat 25% Cangkang, 50% Serat 50% Cangkang, 25% Serat 75% Cangkang 100% Cangkang telah dilakukan. Hasil yang didapat adalah nilai kalor dengan variasi komposisi serat dan cangkang berkisar antara 14978,053 kJ/kg hingga 15463,083 kJ/kg. Dengan nilai kalor pada komposisi serat 100% (15463,083 kJ/kg) [15]. Pada penelitian ini diharapkan campuran terhadap

3. Metode Penelitian

Penelitian ini akan dimulai dengan melakukan uji ultimate dan proksimat untuk EFB fiber sebagai salah satu material yang digunakan sementara untuk mesocarp fiber dan biogas akan dilakukan dengan mengumpulkan data ultimate dan proksimat. Metode yang digunakan untuk menganalisa fenomena pembakaran yang terjadi pada ruang bakar boiler dilakukan dengan analisa numerik. Langkah pertama yang akan dilakukan yaitu mengetahui kebutuhan panas boiler dimana spesifikasi boiler yang digunakan berikut :

- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| a. Tipe Boiler | : water tube boiler |
| b. Kapasitas Boiler | : 40 ton/jam |
| c. Tekanan Kerja (steam outlet) | : 20 bar (saturated) |
| d. Kapasitas Forced Drought Fan | : 24.000 cfm |
| e. Efisiensi | : 74,6 % |
| f. Feed water temperature | : 70°C |

Panas tersebut akan digunakan untuk penentuan komposisi bahan bakar yang dibutuhkan antara mesocarp fiber, EFB fibre & biogas. Komposisi bahan bakar akan divariasikan untuk mendapatkan gas emisi yang paling rendah dan boiler efisiensi yang paling baik. Metode yang digunakan untuk perhitungan efisiensi boiler mengacu pada ASME PTC 4 sementara untuk gas emisi akan dibandingkan dengan Permen LH nomor 07 tahun 2007.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakteristik material

Hasil penelitian ini diawali dengan mendapatkan semua karakteristik material baik ultimate maupun proksimat. Karakteristik material baik ultimate maupun proksimat dapat dilihat pada tabel 1 & 2.

Tabel 1. Karakteristik Material Padat

Parameter	EFB Fiber	Mesocarp Fiber
<i>Proximate analysis (%)</i>		
<i>Moisture content</i>	47	37,2
<i>Volatile matter</i>	45,41	46,92
<i>Fixed carbon</i>	8,8	10,18
<i>Ash</i>	1,78	2,7
<i>Heating value (kJ/kg)</i>	10.716	11.888
<i>Ultimate Analysis (%)</i>		
<i>Carbon</i>	28,32	40,48
<i>Hydrogen</i>	8,15	6,87
<i>Nitrogen</i>	0,42	0,47
<i>Sulphur</i>	0,05	0,11
<i>Oxygen</i>	63,07	52,08

Tabel 2. Karakteristik Material Biogas

Parameter	Nilai
<i>Methane</i>	58,9
<i>Carbon dioxide</i>	38,2
<i>Hydrogen sulfide</i>	2,402
<i>Heating value (kJ/m³)</i>	20.000

Selain karakteristik dari setiap material, ketersediaan dari material tersebut perlu dianalisa seberapa banyak ketersediaannya pada pabrik kelapa sawit. Ketersediaan ini didapatkan berdasarkan perhitungan neraca massa dari pengolahan pabrik kelapa sawit dimana didapatkan dilihat pada table 3.

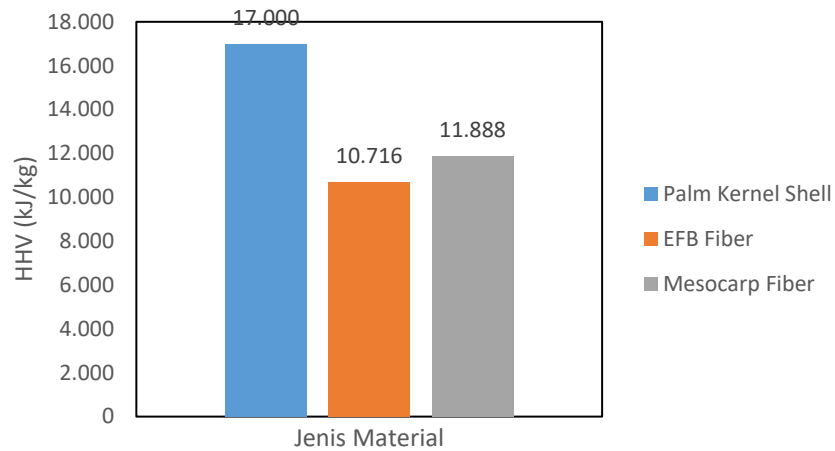
Tabel 3. Ketersediaan material

Material	Neraca massa	Jumlah	Unit
<i>Empty Fruit Bunch fiber</i>	14%	8.19	Ton / jam
<i>Palm Kernel Shell</i>	7%	3.9	Ton / jam
<i>Mesocarp Fiber</i>	13%	7.8	Ton / jam
POME	60%	36	Ton / jam
Biogas	28 m ³ / 1m ³ Pome	1,008	m ³ /jam

4.2 Perbandingan dengan *Palm Kernel Shell*

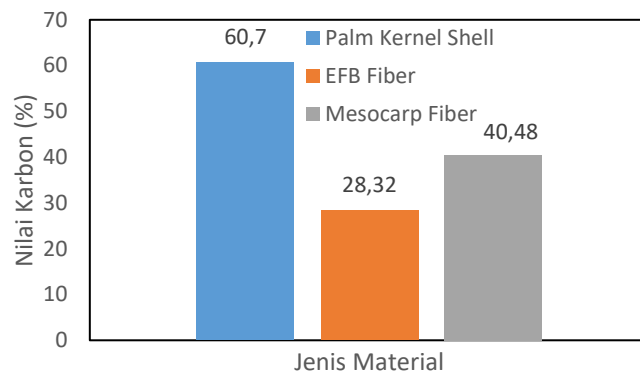
4.2.1 Nilai *High Heating Value* (HHV)

Pada Gambar 2 memperlihatkan perbandingan nilai *high heating value* (HHV). Pada Gambar tersebut dapat kita lihat jika nilai HHV dari Palm Kernel Shell lebih tinggi dibandingkan dengan bahan baku yang lainnya. Hal ini disebabkan karena bond C-C pada *palm kernel shell* yang besar sehingga menghasilkan nilai kalor lebih besar dibandingkan dengan bahan baku yang lainnya [16].



Gambar 2. Nilai HHV pada Berbagai Jenis material dari Kelapa

4.2.2 Nilai Karbon (C)

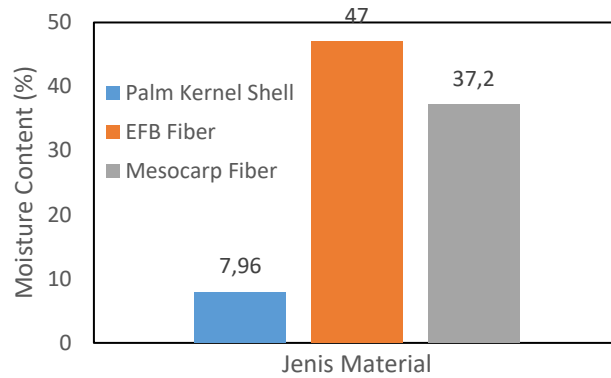


Gambar 3. Nilai Karbon pada Berbagai Jenis material dari Kelapa

Pada Gambar 3 adalah nilai karbon yang terdapat pada jenis bahan baku. Dapat terlihat jika Palm Kernel Shell memiliki nilai karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan EFB Fiber dan mesocarp. Sehingga dapat dilihat bahwa Palm kernel shell ini memiliki potensi untuk menghasilkan emisi gas karbon yang tinggi dibandingkan dengan FEB Fiber dan mesocarp.

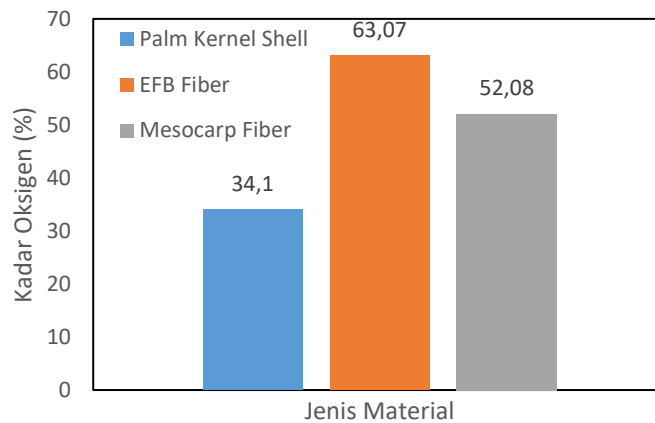
4.2.3 Moisture Content

Pada Gambar 4 adalah nilai *moisture content* pada berbagai jenis material dari Kelapa. Pada Gambar 4 terlihat jika *palm kernel shell* memiliki nilai *moisture content* yang paling rendah dibandingkan FEB Fiber dan mesocarp. Hal ini akan menyebabkan nilai HHV pada *palm kernel shell* lebih tinggi dibandingkan dengan lainnya. Semakin kecil nilai moisture content di material maka material tersebut akan lebih kering dan mudah untuk terbakar.



Gambar 4. Nilai *Moisture Content* pada Berbagai Jenis Material dari Kelapa

4.2.4 Kadar Oksigen

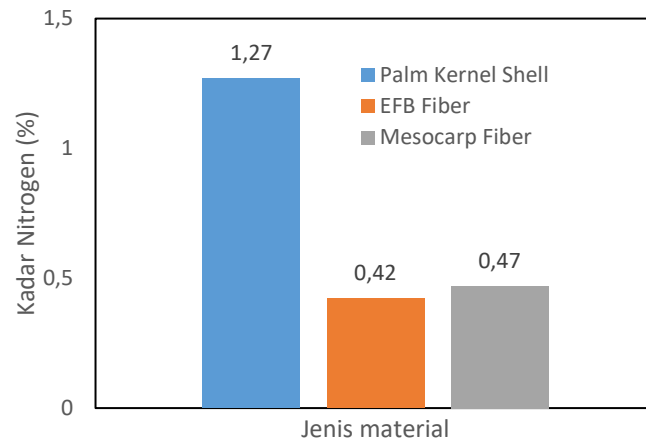


Gambar 5. Nilai kadar Oksigen pada jenis material kelapa

Pada Gambar 5 adalah nilai kadar oksigen pada jenis material kelapa. Dapat terlihat bahwa EFB fiber memiliki kadar oksigen yang tinggi sehingga material tersebut sangat baik jika digunakan sebagai bahan bakar karena dengan kadar oksigen yang tinggi maka kebutuhan oksigen dalam pembakaran dapat lebih baik. Jika pembakaran baik, maka emisi yang dihasilkan juga akan berkurang. Namun pada Palm Kernel Shell memiliki kadar oksigen yang rendah dibandingkan dengan material lainnya. Sehingga pembakaran yang dihasilkan tidak sebaik material yang memiliki kadar oksigen yang lebih tinggi.

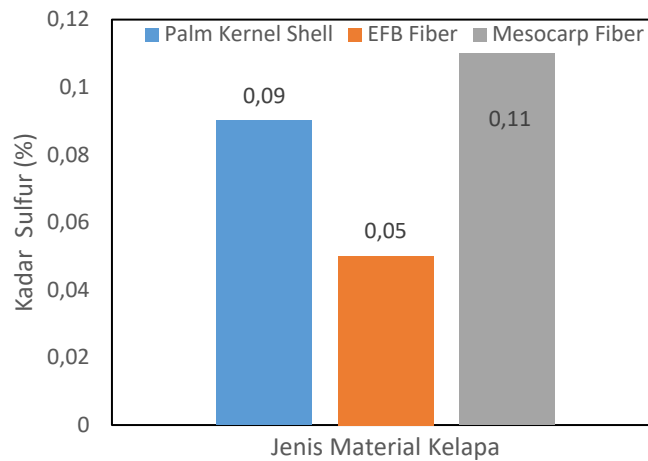
4.2.5 Kadar Nitrogen

Gambar 6 menunjukkan kadar nitrogen dari jenis material kelapa. Dapat dilihat bahwa nilai kadar nitrogen pada palm kernel shell memiliki kadar nitrogen yang tinggi dibandingkan dengan EFB Fiber dan mesocarp. Kadar nitrogen yang tinggi pada material kelapa akan berpotensi menghasilkan nitrogen yang tinggi pada hasil pembakaran. Sehingga palm kernel shell ini dapat digantikan dengan EFB dan mesocarp karena nilai kadar nitrogen yang rendah.



Gambar 6. Nilai Kadar Nitrogen Pada Material Kelapa

4.2.6 Kadar Sulfur



Gambar 7. Nilai Kadar Sulfur Pada Material Kelapa

Gambar 7 menunjukkan kadar sulfur pada material kelapa. Dapat dilihat jika kadar sulfur dari mesocarp lebih tinggi dibandingkan dengan palm kernel shell dan EFB fiber. Namun palm kernel shell memiliki kadar sulfur yang lebih tinggi dibandingkan EFB fiber. Sehingga dengan kadar sulfur yang terdapat di material akan berpotensi menghasilkan emisi sulfur dari reaksi pembakaran.

Dapat disimpulkan bahwa palm kernel shell selain mempunyai potensi nilai kalor yang tinggi untuk boiler, Namun berpotensi menghasilkan emisi yang tinggi dibandingkan dengan EFB fiber dan mesocarp. Emisi tersebut dapat berupa NO_x, partikulat matter, dan SO₂. Sehingga penggunaan material penggantinya yaitu EFB fiber dan mesocarp diharapkan dapat menurunkan emisi yang dihasilkan pada kerja boiler.

4.3 Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar Dengan Menggunakan Biogas

Ketersediaan bahan baku ditentukan melalui perhitungan neraca massa dengan kapasitas pabrik kelapa sawit 60 ton Tandan Buah Segar (TBS) per jam, seperti yang dirinci:

Tabel 4. Availability material [17], [18]

Deskripsi	Material Balance	Unit
Empty Fruit Bunch	21 %	12.6 Ton/jam
Palm Kernel Shell	6.5%	3.9 Ton/jam
Mesocarp Fiber	13%	7.8 Ton/jam
POME	60%	36 Ton/jam

Biogas	28 m ³ / 1 m ³ POME	0.828 Ton/jam
--------	--	---------------

Ketersediaan serat *empty fruit bunch* (tandan buah kosong) menjadikannya bahan pengganti yang lebih disukai, karena paling mudah diperoleh. Lebih jauh, penggunaan biogas sebagai bahan pengganti membantu mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit.

Persyaratan energi panas untuk pengoperasian boiler, sebagaimana ditentukan, digunakan sebagai referensi untuk menentukan komposisi yang akan digunakan. Setelah perolehan persyaratan energi, komposisi bahan bakar ditentukan berdasarkan nilai kalor setiap bahan. Hasil perhitungan yang berkaitan dengan persyaratan energi dan persyaratan bahan bakar untuk setiap bahan disajikan dalam Tabel 7.

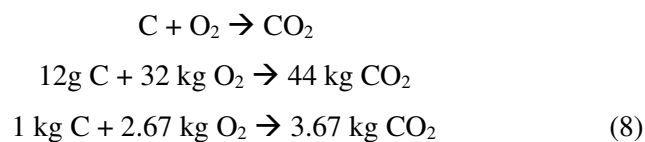
Tabel 5 Energy Bahan Bakar Boiler yang dibutuhkan

Energi yang dibutuhkan (kJ/hour)	Material	Higher Heating Value (kJ/kg)	Bahan Bakar yang dibutuhkan di Boiler (kg/hour)
134,423,646	<i>Mesocarp fiber</i>	19,908	6,752
	<i>Palm Kernel Shell</i>	19,121	7,030
	<i>Empty Fruit Bunch</i>	18,430	7,294
	Biogas	17,280	7,779

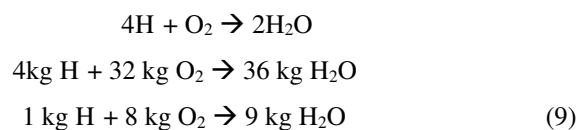
4.4 Proses Pembakaran

Reaksi pembakaran diasumsikan sebagai reaksi pembakaran sempurna dimana udara berlebih yang ditambahkan sebanyak 30% dari kebutuhan udara teoritis. Ada beberapa reaksi pembakaran yang terjadi pada boiler sebagai berikut [19]:

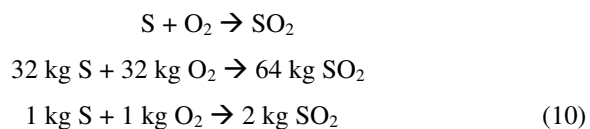
- Pembakaran karbon yang sempurna akan membentuk CO₂ dengan persamaan:



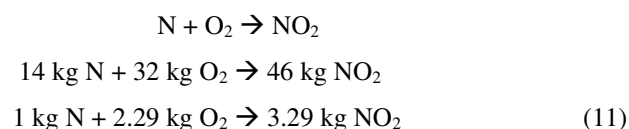
- Pembakaran sempurna hidrogen akan menghasilkan H₂O dengan persamaan:



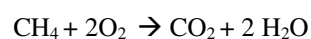
- Pembakaran sempurna sulfur akan menghasilkan SO₂ dengan persamaan:

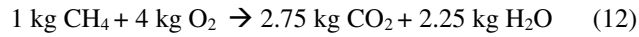
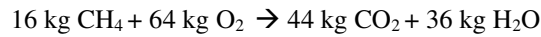
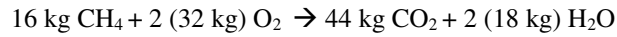


- Pembakaran sempurna nitrogen akan menghasilkan NO₂ dengan persamaan:

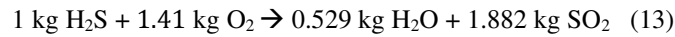
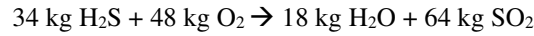
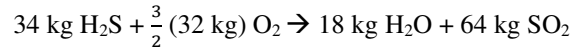
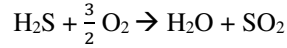


- Pembakaran sempurna methane akan menghasilkan CO₂ dan H₂O dengan persamaan:





- Pembakaran sempurna hydrogen sulfide akan menghasilkan SO₂ dan H₂O dengan persamaan:



Hasil perhitungan proses pembakaran udara sempurna teoritis untuk setiap material disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Teori dan Excess Udara untuk Pembakaran Sempurna

Material	Udara Teoritis (kg Air/ kg bahan bakar)	Udara teoritis + Excess Udara 30% (kg air/ kg bahan bakar)
<i>Mesocarp fiber</i>	6.088	7.915
<i>Palm Kernel Shell</i>	6.618	8.604
<i>Empty Fruit Bunch Fiber</i>	6.54	8.502
Biogas	2.913	3.787

4.5 Analisa Gas Buang

Untuk mencapai komposisi bahan bakar yang optimal dengan komposisi gas buang yang berada di bawah ambang batas, perlu dilakukan serangkaian variasi komposisi. Variasi komposisi yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 7, 8, 9, dan 10.

Tabel 7. Komposisi I

Material	Komposisi (%)	Bahan Bakar Boiler (kg/Jam)
<i>Palm kernel shell</i>	30%	2,025.65
<i>Mesocarp fiber</i>	70%	4,726.51
<i>Empty Fruit Bunch Fiber</i>	0%	-
Biogas	0%	-
Total	100%	6752

Tabel 8. Komposisi II

Material	Komposisi (%)	Bahan Bakar Boiler (kg/Jam)
<i>Palm kernel shell</i>	0%	-
<i>Mesocarp fiber</i>	85%	5,739.34
<i>Empty Fruit Bunch Fiber</i>	5%	364.68
Biogas	10%	777.90
Total	100%	6882

Tabel 9. Komposisi III

Material	Komposisi (%)	Bahan Bakar Boiler (kg/Jam)
<i>Palm kernel shell</i>	0%	-
<i>Mesocarp fiber</i>	82.5%	5,570.53
<i>Empty Fruit Bunch Fiber</i>	7.5%	547.02
Biogas	10%	777.90
Total	100%	6895

Tabel 10. Kompisisi IV

Material	Komposisi (%)	Bahan Bakar Boiler (kg/Jam)
<i>Palm kernel shell</i>	0%	-
<i>Mesocarp fiber</i>	80%	5,401.73
<i>Empty Fruit Bunch Fiber</i>	10%	729.36
Biogas	10%	777.90
Total	100%	6909

Berdasarkan laju aliran massa bahan bakar, perhitungan gas emisi yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran dapat dilakukan. Komposisi produksi gas buang dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12 untuk perbandingan terhadap ambang batas regulasi pemerintah [20].

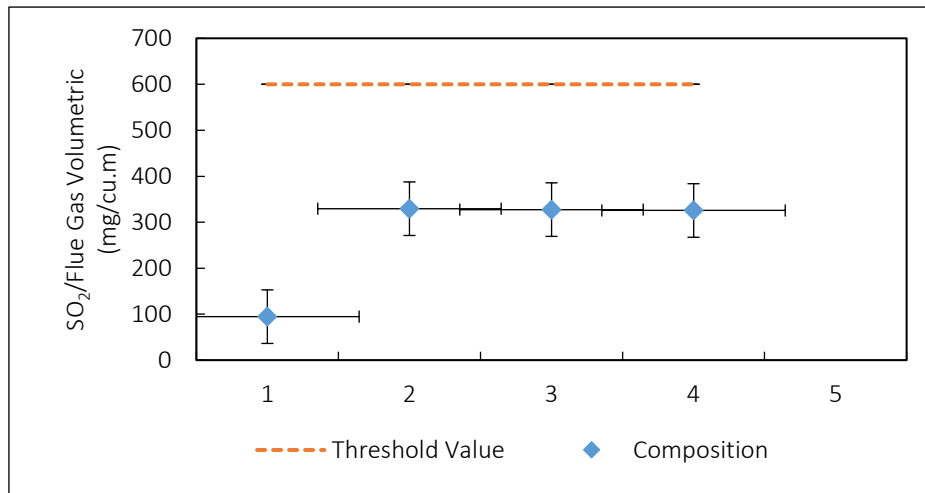
Tabel 11. Komposisi gas buang

Komposisi	Laju Aliran Massa (kg/jam)		
	CO ₂	SO ₂	NO ₂
I	12028.177	18.024	95.079
II	11312.961	62.549	123.010
III	11315.223	62.192	143.530
IV	11317.486	61.834	164.049

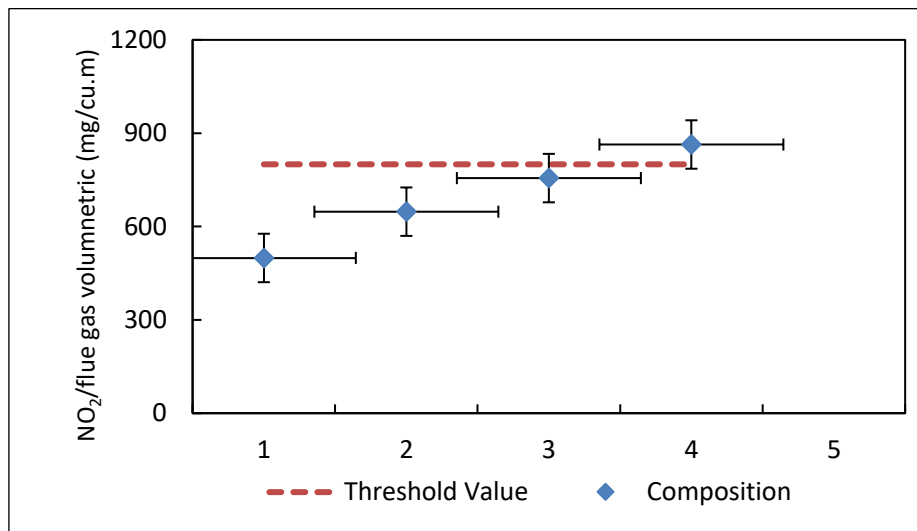
Tabel 12. Perbandingan antara komposisi gas buang dan ambang batas

Komposisi	SO ₂ (mg/m ³)	Komponen		
		Ambang Batas [20]	Ambang Batas [20]	
1	94.60		499.00	
2	32.39		647.78	
3	327.47	600	755.75	800
4	325.54		863.69	

Berdasarkan Tabel 10 dan 11, gas emisi yang dihasilkan oleh komposisi I memiliki nilai CO₂ tertinggi sedangkan nilai SO₂ dan NO₂ terendah dimana komposisi ini merupakan komposisi bahan bakar yang umum digunakan pada pabrik kelapa sawit. Komposisi II, III dan IV merupakan komposisi yang menggunakan bahan pengganti *Palm Kernel Shell* (pcangkang sawit) yaitu menggunakan biogas dan *empty fruit bunch* (serat tandan kosong). Penggunaan serat tandan kosong sebagai bahan bakar memiliki kecenderungan bahwa semakin sedikit serat tandan kosong maka akan meningkatkan NO₂ dan SO₂. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Perbandingan nilai SO₂ antara gas buang yang dihitung dan nilai ambang batas

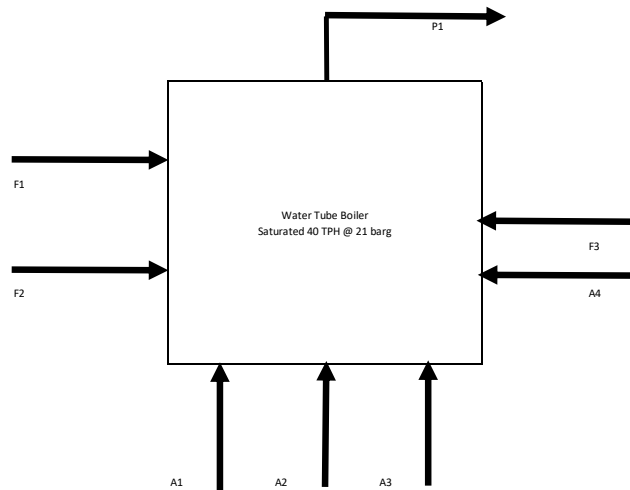


Gambar 7. Perbandingan nilai NO₂ antara emisi gas buang yang dihitung dengan nilai ambang batas

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6 komposisi yang memenuhi persyaratan adalah no.2, dengan *mesokarp fiber* 85%, *empty fruit bunch* 5% dan biogas 10%. Komposisi ini menunjukkan bahwa analisis emisi NO₂ lebih kecil dibandingkan dengan komposisi no.3 dan 4. Namun pada komposisi no.1 hasil yang diperoleh serupa dengan penelitian sebelumnya dimana penggunaan serat tandan kosong akan menurunkan produksi CO₂ tetapi meningkatkan produksi SO₂ dan NO₂ [11]. Komposisi yang direkomendasikan pada penelitian sebelumnya adalah 70% serat mesokarp dan 30% serat tandan kosong tanpa biogas [11]. Hal ini memiliki kemiripan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan dimana cangkang sawit tidak lagi dimanfaatkan sebagai bahan bakar melainkan serat tandan kosong dan bahan pengganti bahan bakar biogas.

4.6 Hasil Simulasi

Penelitian ini menggunakan software Ansys fluent 2024 untuk melakukan simulasi proses pembakaran pada ruang bakar boiler. Skema yang dilakukan dan parameter yang disimulasikan dapat dilihat pada Gambar 8 dan Tabel 13.



Gambar 8. Skema Simulasi

Tabel 13. Parameter Simulasi

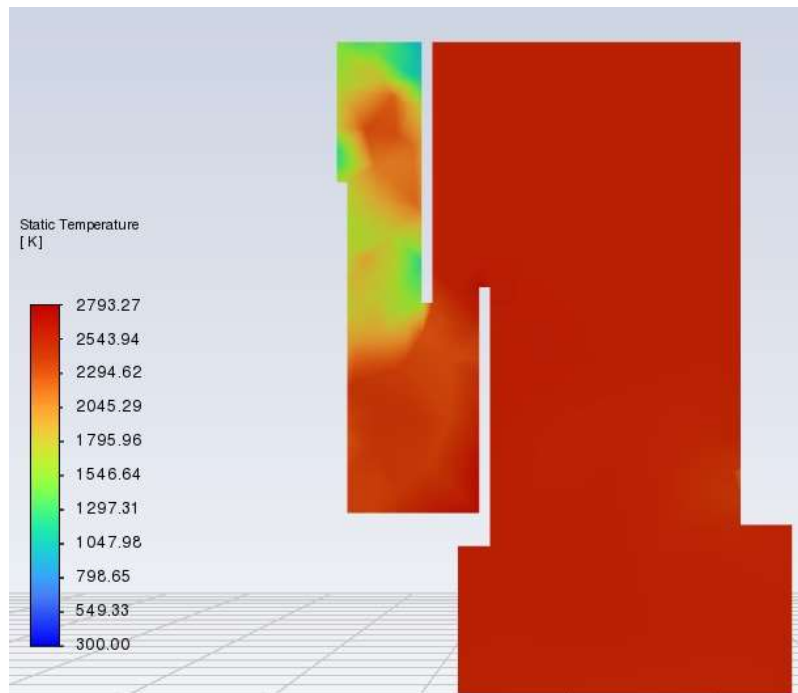
No	Deskripsi	Kondisi Batas	Parameter			
			Komposisi 1	Komposisi 2	Komposisi 3	Komposisi 4
1	Inlet Biomasa (F1)	Mass Flow inlet	2363 kg/jam	3062 kg/jam	3058 kg/jam	3065 kg/jam
2	Inlet Biomasa (F2)	Mass Flow inlet	2363 kg/jam	3062 kg/jam	3058 kg/jam	3065 kg/jam
3	Inlet Biogas (F3)	Mass Flow inlet	-	777.90 kg/jam	777.90 kg/jam	777.90 kg/jam
4	Inlet udara (A1)	Velocity Inlet	4.2 m/s			
5	Inlet udara (A2)	Velocity Inlet	4.2 m/s			
6	Inlet udara (A3)	Velocity Inlet	4.2 m/s			
7	Inlet udara (A4)	Velocity Inlet	4.2 m/s			
8	Outlet (P1)	Pressure Outlet	101.3 kPa			

Pada Ansys Fluent beberapa model dipergunakan untuk simulasi pembakaran tersebut dimana pada penelitian ini model yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 14

Tabel 14. Model simulasi

No	Deskripsi	Status
1	<i>Energy</i>	aktif
2	<i>Viscous</i>	<i>K-epsilon</i>
3	<i>Radiation</i>	<i>Discrete ordinate</i>
4	<i>Species</i>	<i>Non Premixed Combustion</i>
5	<i>Discrete Phase</i>	aktif

Pada proses simulasi didapatkan beberapa data diantaranya profile temperature yang terjadi pada ruang bakar boiler. Profile temperature yang terjadi pada ruang bakar dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Profile temperature pada ruang bakar pada komposisi II

Pada Gambar 9 terlihat jika untuk komposisi II pembakaran maksimum akan dicapai boiler pada temperatur maksimum 2793 K dengan temperatur gas buang sebesar 1546 K.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini komposisi pencampuran yang optimum adalah pada komposisi II yaitu *mesocarp fiber* 85%, biogas 10%, dan *empty fruit bunch* 5% dengan emisi gas tidak melebihi ambang batas dan produksi gas CO₂ terendah. Pada Simulasi menunjukkan pembakaran akan optimal untuk komposisi II yaitu maksimum temperatur boiler pada 2793 K dan temperature gas buang pada 1546 K

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran melalui BIMA.

Luaran adalah publikasi jurnal terindeks Scopus/Sinta 2 di Indonesian Jurnal of Urban and Enviromental Technology saat ini tahap submit.

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* serta mengunggah bukti dokumen pendukung sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra dapat diunggah melalui BIMA.

Catatan:

Bagian ini wajib diisi untuk penelitian terapan, untuk penelitian dasar (Fundamental, Pascasarjana, PKDN, Dosen Pemula) boleh mengisi bagian ini (tidak wajib) jika melibatkan mitra dalam pelaksanaan penelitiannya

Tidak ada mitra yang bekerjasama untuk penelitian ini

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala yang dihadapi adalah mahasiswa Magister Teknik Mesin yang melakukan penelitian ini juga bekerja sehingga waktu untuk melakukan penelitian harus diperketat dan diberikan target agar dapat menyelesaikan penelitian Magister ini tepat waktu dan luaran yang dijanjikan dapat terealisasikan.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian selanjutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Rencana tahapan selanjutnya:



Gambar 10. Skema Penelitian

Gambar 10 adalah rencana penelitian yang telah dilakukan. Pada penelitian yang telah dilakukan yaitu:

- 1). Studi literatur dari penelitian sebelumnya;
- 2) Pengumpulan data properties dari kelapa sawit
- 3) Analisa data untuk hasil dari uji proximate dan ultimate dan analisa komposisi material;
- 5) Penulisan jurnal sinta 1-4 yang telah pada tahap *submitted*.
- 6) Analisa simulasi numerik fenomena pembakaran di boiler,
- 7).Laporan akhir kesimpulan penelitian.

Rencana tahap selanjutnya adalah memastikan jurnal yang telah disubmit pada Jurnal Scopus/Sinta 2 dapat diterima dengan baik dan dipublikasikan.

Hasil penelitian ini diharapkan akan berdampak pada industri lainnya yang menggunakan *palm kernel shell* sebagai bahan bakar di boilernya. Dengan perpaduan komposisi yaitu *mesocarp fiber* 85%, biogas 10%, dan *empty fruit bunch* 5% dengan emisi gas tidak melebihi ambang batas dan produksi gas CO₂ terendah. Penelitian ini dapat memberikan dampak untuk mengurangi limbah industri kelapa sawit dan memanfaatkan limbah kelapa sawit sebagai energi alternatif baru yang dapat menggantikan bahan bakar pada boiler

Roadmap penelitian:



Gambar 11. RoadMap Penelitian

Gambar 11 adalah peta jalan penelitian ini. Dapat dilihat bahwa tahapan penelitian telah dilakukan pada tahun 2023 adalah penelitian untuk meningkatkan kualitas bahan bakar dengan menggunakan aditif yang terbuat dari minyak nabati. Tahapan yang akan dilakukan selama jangka waktu penelitian yaitu dengan pengembangan sampah biomassa (dari limbah kelapa sawit) menjadi sumber energi alternatif. Tahapan penelitian yang direncanakan antara tahun 2025-2028, yaitu penelitian mengenai pengolahan sampah untuk dijadikan energi terbarukan. Sampah yang akan digunakan untuk bahan penelitian yaitu sampah dari biomassa, plastik, rumah tangga dan sampah hasil sisa pembakaran. Sampah tersebut akan dikelola dan dijadikan sebagai alternatif energi menghasilkan listrik untuk digunakan ke masyarakat.

Berkaitan dengan usulan penelitian ini, tim peneliti telah melakukan riset terdahulu yaitu yang berhubungan dengan energi terbarukan bahan bakar alternatif. Berikut publikasi dari penelitian sebelumnya:

1. Bhikuning, A., Li, X; Koshikawa, S; Matsumura, E; Senda, J. (2020). The Experimental. Investigation of the Performance and Emissions Characteristics of Direct Injection Diesel Engine by Bio-Hydro Fined Diesel Oil and Diesel Oil in Different EGR. SAE Technical Paper, 2019-32-0595 [21].
2. Bhikuning, A; Sugawara, R; Matsumura, E; Senda, J. (2020). Investigation of spray characteristics from waste cooking oil, bio-hydro fined diesel oil (BHD) and n-tridecane in a constant volume chamber. Case Studies in Thermal Engineering, 21, 100661 [22].
3. Bhikuning, A; Matsumura, E; Senda, J. (2023). Performance and emission characteristics of biodiesel waste cooking oil water-emulsions under varying engine load condition. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 45 (4), 11036-11045[23].

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

[1] United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, “Palm Oil 2023 World Production.” Diakses tanggal 22 Oktober 2023. [Online]. Available: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000>.

[2] IndexMundi, “Indonesia Palm Oil Production by Year.” Diakses tanggal 22 Oktober 2023. [Online]. Available: [https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=palm oil&country=id&graph=production](https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=palm%20oil&country=id&graph=production)

- [3] Noerrizki, A. M; Putri, T. K.; Erna, E. (2019). Utilization of palm oil waste as bioenergy,” *Sustinere: Journal of Environment and Sustainability*, vol. 3, no. 1, pp. 48–66, doi: 10.22515/sustinere.jes.v3i1.77.
- [4] Hambali, E; Rivai, M. (2017). The Potential of Palm Oil Waste Biomass in Indonesia in 2020 and 2030,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/65/1/012050.
- [5] <https://theconversation.com/indonesia-bisa-pangkas-emisi-dari-sektor-sawitmelalui-pemanfaatan-bioetanol-174291>. Diakses tanggal 28 Maret 2023.
- [6] Sekar, V; Eh Noum,S.Y; Putra, A. (2021). Acoustic properties of microperforated panels made from oil palm empty fruit bunch fiber reinforced polylactic acid. *Sound Vib.*, 55 (4), pp. 342-352.
- [7] Lertwattanakruk, P; Suntijitto, A. (2015). Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications. *Constr. Build. Mater.*, 94, pp. 664-669.
- [8] Ibrahim, Z; Ahmad, M. (2019). Properties of chemically treated oil palm empty fruit bunch (EFB) fibres. *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, 1 (1), pp. 57-68.
- [9] Rama Rao, P; Ramakrishna, G. (2021). Experimental investigation on mechanical properties of oil palm empty fruit bunch fiber reinforced cement mortar. *Mater. Today. Proc.*, 46 (1), pp. 471-477.
- [10] Dominic C.Y. Foo; Raymond R. Tan; Hon Loong Lam; Mustafa Kamal; Jiří J. Klemeš. (2011). Synthesis of Flexible Palm Oil-Based Regional Energy Supply Chain, *Computer Aided Chemical Engineering*, 29, pp 2014-2018.
- [11] Harahap, M; Haeruman, A; Mokheimer, E. (2023). Optimal Composition of Palm Oil Biomass to Minimize Biomass Power Plants’ Greenhouse Gases Emission. *ASME Open Journal of Engineering*. 2. 10.1115/1.4062627
- [12] Rusdianasari, R; Arisetyadhi, I; Kalsum, L; Bow, Y; Syarif, A; Arifin, F. (2023). Characterization of Empty Fruit Bunch of Palm Oil as Co-firing Biomass Feedstock. *AJARCDE (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment)*. 7. 74-78. 10.29165/ajarcde.v7i1.237.
- [13] Maulana, K; Lukman, L; Uddin, F. B; Sanjaya, A. S. (2016). Analisa Efisiensi Water Tube Boiler Berbahan Bakar Fiber dan Cangkang di Palm Oil Mill Kapasitas 60 Ton TBS/Jam dengan Menggunakan Chemicalogic Steamtab Companion Version 2.0. *Chemica: Jurnal Teknik Kimia*, 3 (2), pp 46-54.
- [14] Siswanto, J.E; Generousdi, G. (2022). Analisis Efisiensi Water Tube Boiler Berbahan Bakar Fiber dan Cangkang Sawit di PT Dhamasraya Palma Sejahtera. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA). Journal of Electrical Power Control and Automation*, 5 (2), pp 46 – 51.
- [15] Siswanto, J.E. (2020). Analisis Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler dengan Menggunakan Variasi Campuran Antara Fiber dan Cangkang Buah Sawit. *Journal of Electrical Power Control and Automation*, 3 (1). DOI: <http://dx.doi.org/10.33087/jepca.v3i1.35>
- [16] Karelius, M Dirgantara, N Rumbang, K G Suastika, A R M Akbar (2020). *J. Phys.: Conf. Ser.* 1422 012005.
- [17] Bambang S; Lukman H. D; Ridlo, R; Puspita R. T; & Rosmala S, E. (2023). KAJIAN TEKNOLOGI PEMANFAATAN BIOGAS POME (PALM OIL MILL EFFLUENT) KE BOILER. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 13(1), 43–54. <https://doi.org/10.29122/mipi.v13i1.3219>
- [18] Prayitno, S. J; Santoso, A.D; Nawa Suwedi, D., Pusat Teknologi Lingkungan, P., Gedung, B., Puspipstek Serpong, K., & Selatan, T. (2017). Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA Palm Solid Wastes Potential Calculation for Renewable Energy with LCA Method. In *Jurnal Teknologi Lingkungan* ,Vol. 18, Issue 2.
- [19] Permata, E. I. Studi Kinerja Fluidized Bed Combustion dengan Diversifikasi Bahan Bakar Cangkang Kelapa Ke-Pemanfaatan Limbah Biomasa Daun Kering Di Lingkungan Kampus Universitas Indonesia. Thesis. Mechanical Engineering Department, Universitas Indonesia. 2012.
- [20] Permen LH nomor 07 tahun 2007: BAKU MUTU EMISI SUMBER TIDAK BERGERAK BAGI KETEL UAP. (n.d.).
- [21] Bhikuning, A; Li, X; Koshikawa, S; Matsumura, E; Senda, J. (2020). The Experimental. Investigation of the Performance and Emissions Characteristics of Direct Injection Diesel Engine by Bio-Hydro Fined Diesel Oil and Diesel Oil in Different EGR. *SAE Technical Paper*, 2019-32-0595.

[22] Bhikuning, A; Sugawara, R; Matsumura, E; Senda, J. (2020). Investigation of spray characteristics from waste cooking oil, bio-hydro fined diesel oil (BHD) and n-tridecane in a constant volume chamber. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, 100661.

[23] Bhikuning, A; Matsumura, E; Senda, J. (2023). Performance and emission characteristics of biodiesel waste cooking oil water-emulsions under varying engine load condition. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45 (4), 11036-11045.



Komposisi *Empy Fruit Bunch Fiber*, Biogas dan *Mesocarp Fiber* Sebagai Energi Terbarukan Pengganti *Palm Kernel Shell* Pada Industri Kelapa Sawit

Ketua Peneliti: Ir. Annisa Bhikuning, ST, M.Eng Ph.D (0302067801)

Anggota: Sandi Apriandi Setiawan (161012300002)



Skema Penelitian Magister Tahun 2024

TKT Akhir : 3

Dana Penelitian : Rp 33.820.000,-

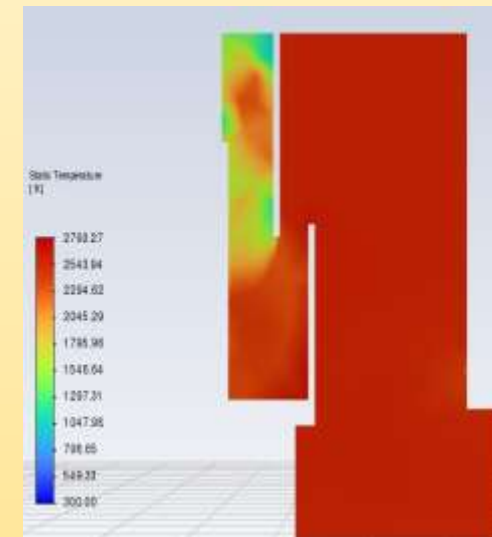
Indonesia merupakan negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, dengan pangsa sebesar 59%. Pada tahun 2013 hingga 2023, produksi kelapa sawit di Indonesia meningkat rata-rata sebesar 4,7%. Timbulnya limbah juga semakin meningkat seiring dengan peningkatan produksi. Limbah pabrik kelapa sawit terdiri dari limbah cair pabrik kelapa sawit (POME), *mesocarp fiber*, *palm kernel shell*, dan *empty fruit bunch*. Dalam penelitian ini, limbah dari kelapa sawit, seperti *mesocarp fiber* dan *empty fruit bunch*, dapat digunakan untuk menggantikan cangkang kelapa sawit (*Palm kernel shell*). Selain itu, penambahan biogas pada *mesocarp fiber* dan *empty fruit bunch* akan digunakan sebagai tambahan untuk menggantikan bahan bakar pada boiler. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menentukan komposisi optimum yang dapat digunakan pada bahan bakar boiler dimana emisi gas menjadi parameter utama, terutama CO₂. **Metodologi dan Hasil:** Metode dalam penelitian ini adalah studi pustaka, analisis bahan untuk proksimat dan ultimat, kemudian analisis hasil. **Hasil penelitian** didapat komposisi optimum *mesocarp fiber* 85%, biogas 10%, dan *empty fruit bunch* 5% (M85B10EF5) dimana emisi gas tidak melebihi ambang batas dan produksi gas CO₂ terendah. Simulasi juga menunjukkan pembakaran maksimum terjadi di boiler pada temperatur 2793 K dan temperature gas buang pada 1546 K. **Kesimpulan, signifikansi dan dampak penelitian:** Penelitian ini dapat memberikan dampak untuk mengurangi limbah industri kelapa sawit dan memanfaatkan limbah kelapa sawit sebagai energi alternatif baru yang dapat menggantikan bahan bakar pada boiler.

Kata Kunci: *Empty Fruit Bunch*, *Mesocarp Fiber*, Biogas, *Palm Kernel Shell*, Boiler

Luaran: Submit di Jurnal terindeks Scopus (Sinta 2) di Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology.

Komposisi optimum:
Mesocarp fiber 85%,
Biogas 10% dan
Empty Fruit Bunch
5% (M85B10EF5)

Gas Buang untuk
komposisi optimum
(M85B10EF5) masih
dalam ambang batas:
NO₂ → 647,78 mg/m²
SO₂ → 32,93 mg/m²



Gambar 1. Simulasi pembakaran di boiler untuk M85B10EF5



(a)



(b)

Gambar 2. Boiler dengan menggunakan Bahan bakar Biomassa: (a) Boiler di Lapangan; (b) Sketsa Boiler

COMPOSITION OF EMPTY FRUIT BUNCH, BIOGAS, AND MESOCARP AS RENEWABLE ENERGY TO REPLACE PALM KERNEL SHELL IN INDUSTRY

Sandi Apriandi Setiawan ¹, Annisa Bhikuning^{1*}, Hezron Elyakim Potto¹, Budi Setiawan¹, Tezara Cionita²

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology Industry, Universitas Trisakti, Jakarta, 11440, Indonesia

³Faculty of Engineering and Quantity Surveying, INTI International University, Nilai 71800, Malaysia²

*Corresponding author: annisabhi@trisakti.ac.id

ABSTRACT

*Indonesia is the largest palm oil-producing country in the world, with a share of 59%. In 2013 to 2023, palm oil production in Indonesia increased by an average of 4.7%. The emergence of waste also increases along with the increase in production. Palm oil mill waste consists of palm oil mill liquid waste (POME), mesocarp fiber, palm kernel shells, and empty oil palm bunches. In this study, waste from palm oil, such as mesocarp fiber and empty fruit bunches, can be used to replace the palm kernel shells. Moreover, the addition of biogas to mesocarp fiber and empty fruit bunches will be used as an addition to replace fuel in boiler. **Aims:** This study was aimed to analyze and determine the optimum composition that can be used in boiler fuel where gas emissions are the main parameters, especially CO₂. **Methodology and results:** The method in this study are a literature review, analyzing materials for proximate and ultimate, then analyzing the results. The results of this study are the optimum composition of 85% mesocarp fiber, 10% biogas, and 5% empty bunch fiber where gas emissions do not exceed the threshold and the lowest CO₂ gas production*

Conclusion, significance and impact study: *This study can be impacted to decrease waste from palm oil industry and used the waste palm as new alternative energy that can replace fuel in boiler.*

MANUSCRIPT HISTORY

(one single space, 11 pt)

Received
20...
 Revised
 20...
 Accepted
 20...
 Available online
 20...

KEYWORDS

- Empty Fruit Bunch,
- Mesocarp,
- Palm Kernel Shell,
- Biogas,
- Boiler

Carbon	47.39%	44.21%	51.22%
Oxygen	32.15%	26.93%	32.16%
Nitrogen	0.41%	3.80%	0.47%
Total	100.00%	100.00%	100.00%

Table 3 Material characteristic for gas material

Component	Volume Fraction (Vol%)
Methane	58.90%
Carbon dioxide	38.70%
Hydrogen sulfide	2.40%
Total	100.00%

As can be seen in Table 2 palm kernel shell has higher carbon than mesocarp fiber and empty fruit bunch fiber. So, it can be seen that Palm kernel shell has the potential to produce high carbon gas emissions compared to others. Moreover, palm kernel shell has the lowest moisture content value compared to empty fruit bunch fibre and mesocarp fibre. This will cause the HHV value of palm kernel shell to be higher than the others. The smaller the moisture content value in the material, the drier and more flammable the material will be (Baffour, et al., 2021). The oxygen content for all materials has nearly the same as others, this can be explained that biomass contents of oxygen that can help increase the combustion process. Furthermore, the combustion would be perfected if the composition of air is fulfilled in the chamber, resulting the emissions will be reduced (Bhikuning, et al., 2021).

The utilization of empty fruit bunch fiber as a substitute for palm kernel shell is a possibility, given that the water content of the two is analogous, as confirmed by result of proximate and ultimate tests.

3.2 Boiler Fuel Required

The calculation of fuel requirements for the boiler will be based on the specifications of the boiler, as detailed in Table 4.

Table 4 Boiler Specification

Description	Specification	Unit
Boiler Type	Water Tube Boiler	-
Boiler Capacity	40	Ton/hour
Working Pressure	21	Barg (saturated steam)
Boiler Efficiency	74.6	%
Feed Water Temperature	70	°C
ID Fan Capacity	107.500	CFM
FD fan Capacity	34.600	CFM
Fuel Feeder Capacity	3500	CFM

The availability of materials will be determined through the calculation of mass balance with palm oil mill capacity 60 Fresh Fruit Bunch (FFB) ton per hours, as detailed in Table 5.

Table 5 Availability material(Bambang Sucahyo, et al., 2023; Prayitno Susanto, et al., 2017)

Description	Material Balance	Unit
Empty Fruit Bunch	21 %	12.6 Ton/hour
Palm Kernel Shell	6.5%	3.9 Ton/hour
Mesocrap Fiber	13%	7.8 Ton/hour
POME	60%	36 Ton/hour
Biogas	28 m ³ / 1 m ³ POME	0.828 Ton/hour

The availability of empty fruit bunch fiber makes it a preferable substitute material, as it is the most readily available. Furthermore, the use of biogas as a substitute material helps to mitigate the greenhouse gas emissions produced by palm oil mills.

The heat energy requirements for boiler operation, as specified, are employed as a reference for determining the composition to be utilized. Subsequent to the acquisition of energy requirements, the fuel composition is determined on the basis of the heating value of each material. The outcomes of the calculations pertaining to energy requirements and fuel requirements for each material are presented in Table 6.

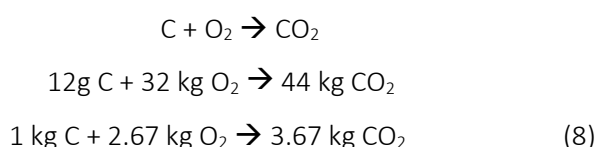
Table 6 Energy demand and boiler fuel demand

Energy Required (kJ/hour)	Material	Higher Heating Value (kJ/kg)	Boiler Fuel Required (kg/hour)
134,423,646	Mesocarp fiber	19,908	6,752
	Palm Kernel Shell	19,121	7,030
	Empty Fruit Bunch Fiber	18,430	7,294
	Biogas	17,280	7,779

3.3 Combustion Process

The combustion reaction is assumed to be a perfect combustion reaction where excess air is added as much as 30% of the theoretical air requirement. There are several combustion reactions that occur in boilers as follows (Permata, 2012):

- Perfect combustion of carbon will form CO₂ with equation:



Tabel 12 Flue gas composition

Composition	Mass Flow Rate (kg/jam)		
	CO ₂	SO ₂	NO ₂
1	12028.177	18.024	95.079
2	11312.961	62.549	123.010
3	11315.223	62.192	143.530
4	11317.486	61.834	164.049

Tabel 13 Comparison between flue gas composition and threshold

Composition	Component			
	SO ₂ (mg/m ³)	Threshold	NO ₂ (mg/m ³)	Threshold
1	94.60		499.00	
2	32.39		647.78	
3	327.47	800	755.75	600
4	325.54		863.69	

Based on tables 9 and 10, the emission gas produced by composition no. 1 has the highest CO₂ while the lowest SO₂ and NO₂ values where this composition is the composition of fuel commonly used in palm oil mills. Compositions 2, 3 and 4 are compositions using *palm kernel shell* replacement material which uses biogas and empty fruit bunch fiber. The use of empty fruit bunch fiber as fuel has a tendency that the less fruit bunch fiber will increase NO₂ and SO₂. This can be seen in Figures 5 and 6.

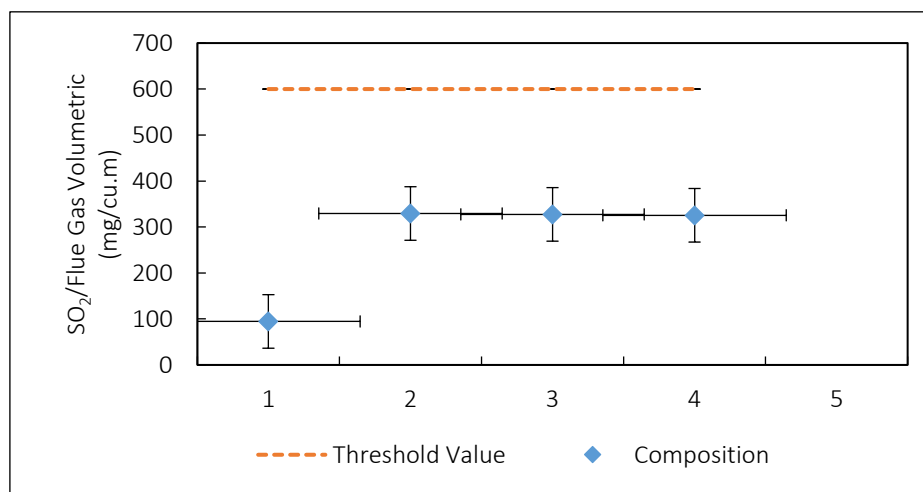


Figure 5 Comparison SO₂ value between calculated flue gas and threshold

The authors would like to thank you to Directorate of Research, Technology and Community Service, Directorate General of Higher Education, Research, and Technology, Ministry of Education, Culture, Research, and Technology Republic of Indonesia, Number: 105/E5/PG.02.00.PL/2024 for their fund and support.

REFERENCES

- Amin Abd Majid, M., Ghazali, Z., & Talib Shin Min, N. (n.d.). *Cyclone 3ST/H boiler Fuel infeed Steam 20 BARG Chimney Moving platform 1.4 MWe Steam 3.1 BARG Steam Steriliser Mill process Sheel and fibre from process.*
- Baffour-Awuah, E., et al . 2021. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1107 012090.
- Bambang Sucahyo., Dwi Lukman H., Rohmadi Ridlo., Tyas Puspita R., & Erna Rosmala S. 2023. KAJIAN TEKNOLOGI PEMANFAATAN BIOGAS POME (PALM OIL MILL EFFLUENT) KE BOILER. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 13(1), 43–54. <https://doi.org/10.29122/mipi.v13i1.3219>
- Bhikuning, A., Matsumura, E., Senda, J. 2018. A Review: Non-Evaporating Spray Characteristics of Biodiesel Jatropha and Palm Oil and Its Blends. *International Review of Mechanical Engineering*, 12 (4), pp. 364-370.
- Bhikuning, A. 2021. The simulation of performance and emissions from rapeseed and soybean methyl ester in different injection pressures. *Automotive Experiences*, 4 (3), pp.112-118.
- Bhikuning, A., Matsumura, E., Senda, J. 2023. Performance and emission characteristics of biodiesel waste cooking oil water-emulsions under varying engine load condition. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45 (4), pp. 11036-11045.
- Booneimsri, P., Kubaha, K., & Chullabodhi, C. 2018. Increasing power generation with enhanced cogeneration using waste energy in palm oil mills. *Energy Science and Engineering*, 6(3), 154–173. <https://doi.org/10.1002/ese3.196>
- Fono-Tamo, R. S., Idowu, O. O., and Koya, F. O. 2014. Development of pulverized palm kernel shells based particleboard. *Int. J.Mater. Mech. Eng*, vol. 3, pp. 54-61.
- Fuadi, N. A. B., Ibrahim, A. S., and Ismail, K. N. 2012. Review study for activated carbon from palm shell used for the treatment of wastewater. *J. Purity Util. React. Environment*, vol. 1, pp. 252-266.
- 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). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/65/1/012050>

Title Title Title Title Title Title Title Title Title Title Title Title Title Title Title Title
Title Title Title Title No More than 18 Word
Last name Author1, Last name Author2, Last name Author3
p-ISSN 2579-9150; e-ISSN 2579-9207, Volume xx, Number yy, pp 00 – 11, April/October 20xx