

**LAPORAN PENELITIAN**

**WORLD CLASS RESEARCH**



**PENINGKATAN KUALITAS BAHAN BAKAR BIOMASSA  
MELALUI PROSES TOREFAKSI**

Oleh:

Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.	NIP. 196505271993031002
Prof. Dr. Ir. Udin Hassanudin. M.T	NIP. 196401061988031002
Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc	NIP. 196112111987031004
Wahyu Hidayat S.Hut, M.Sc., Ph.D	NIP. 197911142009121001
Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.	NIP. 198803252015041001
Dr. Eng. Dewi Agustina, S.T., M.T	NIP. 197208252000032001
Dr. Amrul, S.T., M.T	NIP. 197103311999031003

**KONTRAK NOMOR: 065/SP2H/LT/DRPM/2019**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2019**

**PROTEKSI ISI LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN**

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi laporan ini dalam bentuk apapun kecuali oleh peneliti dan pengelola administrasi penelitian

**LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN MULTI TAHUN**

ID Proposal: 6ab19cca-fc72-4050-b276-709bd24e019e  
Laporan Kemajuan Penelitian: tahun ke-1 dari 3 tahun

**1. IDENTITAS PENELITIAN**

**A. JUDUL PENELITIAN**

Peningkatan Kualitas Bahan bakar Biomassa Melalui Proses Torefaksi

**B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU**

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Energi	Teknologi Substitusi Bahan Bakar	Pengembangan dan pemanfaatan bioenergi untuk transportasi, listrik dan industri	Teknologi Pertanian

**C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN**

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi/ Penugasan)	Skema Penelitian	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar, Terapan, Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Penelitian Penugasan	World Class Research	SBK Riset Dasar	SBK Riset Dasar	3	3

**2. IDENTITAS PENGUSUL**

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
AGUS HARYANTO Ketua Pengusul	Universitas Lampung	Teknik Pertanian		6091372	12
Dr. Ir UDIN HASANUDDIN Anggota Pengusul 1	Universitas Lampung	Ilmu Lingkungan	Bertanggung jawab terhadap analisis Ultimate ; Membantu penyiapan makalah ilmiah; Membantu penyiapan laporan;	6023998	5
WAHYU HIDAYAT S.Hut, M.Sc., Ph.D	Universitas Lampung	Kehutanan	Bertanggung jawab terhadap proses torefaksi ;	38578	8

Anggota Pengusul 2			Membantu penyiapan makalah ilmiah; Membantu penyiapan laporan;		
Ir DR. IR. SUGENG TRIYONO, M.SC. Anggota Pengusul 3	Universitas Lampung	Teknik Pertanian	Bertanggung jawab terhadap analisis Proksimate ; Membantu penyiapan makalah ilmiah; Membantu penyiapan laporan;	5972608	4
Dr MARELI TELAUMBANUA S.TP, M.Sc. Anggota Pengusul 4	Universitas Lampung	Teknik Pertanian	Bertanggung jawab terhadap analisis nilai kalor ; Membantu penyiapan perjalanan lokal;; Membantu penyiapan makalah ilmiah; Membantu penyiapan laporan;	6153971	1
Dr DEWI AGUSTINA IRYANI S.T, M.T Anggota Pengusul 5	Universitas Lampung	Teknik Kimia	Bertanggung jawab terhadap analisis struktur kimia (sem dan FTIR) ; Membantu penyiapan makalah ilmiah; Membantu penyiapan laporan;	40583	2
Dr AMRUL S.T, M.T Anggota Pengusul 6	Universitas Lampung	Teknik Mesin	Membantu pelaksanaan torefaksi ; Membantu penyiapan makalah ilmiah; Membantu penyiapan laporan;	6159641	0

### 3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama, yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra
-------	------------

### 4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

#### Luaran Wajib

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian ( <i>accepted, published, terdaftar</i> )	Keterangan ( <i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten,</i>
--------------	--------------	--	---

		<i>atau granted, atau status lainnya)</i>	<i>keterangan sejenis lainnya)</i>
1	Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional	accepted/published	Biomass and bioenergy

#### **Luaran Tambahan**

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian ( <i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)</i>	Keterangan ( <i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)</i>
1	Keikutsertaan dalam Seminar Internasional	sudah dilaksanakan	ICB

#### **5. ANGGARAN**

Rencana anggaran biaya penelitian mengacu pada PMK yang berlaku dengan besaran minimum dan maksimum sebagaimana diatur pada buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Edisi 12.

**Total RAB 3 Tahun Rp. 342,080,000**

**Tahun 1 Total Rp. 105,080,000**

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Unit	1	3,000,000	3,000,000
Bahan	ATK	Paket	1	1,383,000	1,383,000
Bahan	Barang Persediaan	Unit	2	1,450,000	2,900,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	16	2,650,000	42,400,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	Paket	1	2,000,000	2,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	Paket	1	10,000,000	10,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Luaran KI (paten, hak cipta dll)	Paket	1	2,000,000	2,000,000
Pengumpulan Data	Tiket	OK (kali)	5	1,940,000	9,700,000
Pengumpulan Data	Penginapan	OH	7	500,000	3,500,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	OJ	9	2,000,000	18,000,000
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	13	315,000	4,095,000
Pengumpulan Data	Uang Harian	OH	27	226,000	6,102,000

**Tahun 2 Total Rp. 118,500,000**

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Unit	1	3,000,000	3,000,000
Analisis Data	Tiket	OK (kali)	2	2,500,000	5,000,000
Analisis Data	Penginapan	OH	2	500,000	1,000,000
Analisis Data	Transport Lokal	OK (kali)	6	400,000	2,400,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Uang Harian	OH	9	380,000	3,420,000
Analisis Data	HR Pengolah Data	P (penelitian)	27	150,000	4,050,000
Bahan	ATK	Paket	1	1,630,000	1,630,000
Bahan	Barang Persediaan	Unit	2	3,200,000	6,400,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	16	2,750,000	44,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar nasional	Paket	1	2,000,000	2,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	Paket	1	10,000,000	10,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Luaran KI (paten, hak cipta dll)	Paket	1	2,000,000	2,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	Paket	2	1,500,000	3,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Uang harian rapat di luar kantor	OH	9	380,000	3,420,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	OJ	2	1,200,000	2,400,000
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	6	680,000	4,080,000
Pengumpulan Data	Tiket	OK (kali)	6	3,000,000	18,000,000
Pengumpulan Data	Uang Harian	OH	18	150,000	2,700,000

**Tahun 3 Total Rp. 118,500,000**

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Unit	1	3,000,000	3,000,000
Analisis Data	Tiket	OK (kali)	2	2,500,000	5,000,000
Analisis Data	Penginapan	OH	2	500,000	1,000,000
Analisis Data	Transport Lokal	OK (kali)	6	400,000	2,400,000
Analisis Data	Uang Harian	OH	9	380,000	3,420,000
Analisis Data	HR Pengolah Data	P (penelitian)	27	150,000	4,050,000
Bahan	ATK	Paket	1	1,630,000	1,630,000
Bahan	Barang Persediaan	Unit	2	3,200,000	6,400,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	16	2,750,000	44,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar nasional	Paket	1	2,000,000	2,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	Paket	1	10,000,000	10,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Luaran KI (paten, hak cipta dll)	Paket	1	2,000,000	2,000,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	Paket	2	1,500,000	3,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Uang harian rapat di luar kantor	OH	9	380,000	3,420,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	OJ	2	1,200,000	2,400,000
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	6	680,000	4,080,000
Pengumpulan Data	Tiket	OK (kali)	6	3,000,000	18,000,000
Pengumpulan Data	Uang Harian	OH	18	150,000	2,700,000

## 6. KEMAJUAN PENELITIAN

**A. RINGKASAN:** Tuliskan secara ringkas latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian.

Indonesia memiliki potensi bahan bakar biomassa yang sangat melimpah. Sumber energi biomassa memiliki potensi 32.654 MWe, tetapi yang sudah dikembangkan hanya 1.626 MW (off grid) dan 91,1 MW (on grid). Bahan bakar biomassa memiliki beberapa kekurangan penting, seperti nilai kalori yang rendah, kadar air tinggi, densitas rendah, mudah menyerap air (higroskopis), kadar bahan volatile tinggi, kandungan bahan anorganik (Ca, Si, K) yang tinggi, dan ukuran, bentuk serta tipe yang tidak seragam. Proses torefaksi dapat mengatasi sebagian besar issue tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas bahan bakar biomassa melalui proses torefaksi. Selain untuk memperoleh produk bahan bakar biomassa torefaksi, penelitian ini juga ditujukan untuk mendapatkan parameter proses yang optimum seperti suhu proses torefaksi, rasio laju aliran biomassa terhadap laju aliran gas panas, dan efisiensi proses yang sesuai dengan jenis biomassa umpan.

Secara keseluruhan penelitian akan dilakukan dalam tiga tahap selama tiga tahun. Proses torefaksi akan dilakukan menggunakan perkakas torefaksi counter flow multi baffle (COMB) dryer pyrolyzer. Perkakas ini merupakan hibah dari kerjasama dengan KIER (Korean Institute for Energy Research) dan sudah diinstal di Lab. lapang Terpadu, Universitas Lampung sejak awal 2018. Pada tahun pertama, proses torefaksi akan ditujukan untuk bahan bakar kayu. Kelompok bahan bakar kayu seperti kayu karet, kayu sengon, kayu albasia dan bambu akan dipilih karena ketersediaan yang melimpah dan pertumbuhan yang cepat sehingga bisa dikembangkan sebagai tanaman energi. Kayu-kayu tersebut akan dipotong-potong menjadi chip dengan ukuran panjang 2-3 cm sesuai dengan kebutuhan spesifik reaktor COMB.

Pada tahun kedua, proses torefaksi akan difokuskan pada bahan bakar residu seperti jerami padi, jerami jagung, bagasse tebu dan rumput gajah. Biomassa residu itu pertamanya akan dicetak menjadi pellet terlebih dahulu sebelum diproses dalam reaktor COMB. Hal ini dilakukan karena perkakas COMB dirancang dengan desain yang dapat menerima biomassa dengan ukuran tertentu. Reaktor COMB tidak bisa memproses biomassa lepas seperti jerami atau bagasse. Penelitian pada tahun pertama dan kedua, selain untuk mendapatkan bahan bakar biomassa torefaksi, terutama juga ditujukan untuk mencari parameter proses torefaksi yang sesuai dengan jenis biomassa, yaitu suhu proses torefaksi, laju aliran biomassa, laju aliran gas panas, efisiensi proses, dan karakteristik biomassa sebelum dan sesudah proses torefaksi. Karakteristik biomassa yang penting adalah analisis proksimat dan ultimat, nilai kalori (HHV), sifat hydrophobicity, dan struktur kimia (melalui SEM dan FTIR), dan dari bahan bakar biomassa.

Pada tahun ketiga akan dilakukan uji coba penggunaan bahan bakar biomassa (pellet) torefaksi pada industri kecil yang banyak memerlukan panas untuk proses (misalnya industri

tahu). Penelitian tahun ketiga ditujukan terutama untuk melihat efisiensi dan analisis ekonomi penggunaan biomassa torefaksi. Sebagai perbandingan juga akan karakteristik abu dari pembakaran biomassa tanpa dan dengan torefaksi akan dianalisis dan dibandingkan.

Keluaran dari hasil penelitian ini berupa inovasi teknologi peningkatan mutu bahan bakar biomassa melalui proses torefaksi dengan Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) 3 dan menghasilkan 1 (satu) publikasi ilmiah di jurnal internasional berreputasi Q1 misalnya jurnal Biomass and Bioenergy atau Fuel Processing Technology

**B. KATA KUNCI:** Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi 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 dapat berupa 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.

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.

## BAB IV. ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

### 4.1. Perubahan Nilai Kalor, Kadar Abu, Volatile, dan Lignoselolosa Pengaruh Kecepatan dan Massa Torefaksi pada TKKS .

#### 4.1.1. Nilai Kalor

Perlakuan pada tahap ini adalah ukuran sampel dan kecepatan putar torefaksi. Huruf A<sub>1-3</sub> merupakan variasi ukuran sampel (100, 200, 300 gr), dan V<sub>1-3</sub> adalah variasi kecepatan (15, 25, 35 RPM). Sampel yang diuji terdiri dari 10 ulangan, dan 1 sampel tanpa proses torefaksi. Berikut ini adalah hasil dari uji nilai kalor (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Hasil Uji Nilai Kalor

Perlakuan	Berat Awal (gr)	Nilai Kalor (Mj)
A <sub>1</sub> V <sub>1</sub>	0,5	17,39
A <sub>1</sub> V <sub>2</sub>	0,54	17,57
A <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	0,51	17,13
A <sub>2</sub> V <sub>1</sub>	0,54	16,72
A <sub>2</sub> V <sub>2</sub>	0,57	16,47
A <sub>2</sub> V <sub>3</sub>	0,47	17,17
A <sub>3</sub> V <sub>1</sub>	0,52	18,52
A <sub>3</sub> V <sub>2</sub>	0,56	16,27
A <sub>3</sub> V <sub>3</sub>	0,49	17,59
Tanpa torefaksi	0,50	15,83

Gambar 38. Grafik nilai kalor pelet berdasarkan berat

Pada tabel 4.1 tentang nilai kalor, diketahui bahwa sampel A<sub>3</sub>V<sub>1</sub> mempunyai nilai kalor tertinggi yaitu 18.52 MJ dan terendah pada sampel A<sub>3</sub>V<sub>2</sub> yaitu 16,27 MJ. Nilai kalor pelet TKKS yang dengan berbagai perlakuan memiliki nilai kalor yang lebih besar dibanding tanpa proses torefaksi. Hal ini disebabkan oleh faktor fisik pelet seperti kadar air, kelembaban dan kadar abu yang memberi pengaruh terhadap besarnya nilai kalor.

#### 4.1.2 Kadar Abu

Kadar abu dianalisis dengan mengabukan sampel pada suhu yang sangat tinggi ( $\pm 1000$  °C). Abu tersebut berasal dari bahan-bahan mineral yang terikat dalam struktur karbon biomassa. Penentuan kadar abu ini berhubungan erat dengan jumlah kandungan mineral yang ada dalam suatu bahan TKKS.

Tabel 4.2. Kadar abu pelet sebelum ditorefaksi

Sampel	Kadar Abu (%)
Tanpa Torefaksi	13,127

Tabel 4.3. Kadar abu pelet TKKS

Perlakuan	Ulangan	Rata-rata
-----------	---------	-----------



	I (%)	II (%)	III (%)	(%)
A <sub>1</sub> V <sub>1</sub>	9,49	21,22	14,61	15,1067
A <sub>1</sub> V <sub>2</sub>	14,38	15,20	11,47	13,6833
A <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	16,35	18,89	14,23	16,49
A <sub>2</sub> V <sub>1</sub>	19,73	22,59	21,46	21,26
A <sub>2</sub> V <sub>2</sub>	13,5	21,4	17,68	17,5267
A <sub>2</sub> V <sub>3</sub>	21,59	13,21	17,98	17,5933
A <sub>3</sub> V <sub>1</sub>	11,72	15,90	11,81	13,1433
A <sub>3</sub> V <sub>2</sub>	10,29	16,01	14,98	13,76
A <sub>3</sub> V <sub>3</sub>	14,40	16,61	15,57	15,1067

Rerata kadar abu tertinggi terdapat pada sampel dengan perlakuan berat 200 gr dengan kecepatan putaran 16 RPM dan kadar abu terendah pada sampel dengan perlakuan berat 300 gr pada kecepatan putaran 16 RPM (Tabel 4.2 dan 4.3). Semakin tinggi kandungan abu pada bahan TKKS menunjukkan bahwa nilai kalor dari bahan bakar tersebut juga semakin rendah.

#### 4.1.3 Nilai *Volatile Matter*

Kadar *volatile matter* TKKS diartikan sebagai kecepatan TKKS untuk dapat terbakar. Kadar *volatile* bahan (*Volatile Matter*) didapatkan dengan memanaskan pelet TKKS ke dalam *furnace* pada temperatur  $900 \pm 15^\circ\text{C}$  selama 15 menit. Bahan-bahan ber-*volatile* menentukan kemampuan pembakaran suatu pelet TKSS. TKKS dengan kandungan *volatile matters* tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar nilai kalor yang dimiliki akan dilepaskan sebagai uap dalam pembakaran.

Tabel 4.4. Kadar *volatile matter* pelet sebelum ditorefaksi

Sampel	<i>Volatile matter</i> (%)
Tanpa Torefaksi	86,8721

Tabel 4.5. *Volatile matter* pelet TKKS

Perlakuan	Ulangan			Rata-rata (%)
	I (%)	II (%)	III (%)	
A <sub>1</sub> V <sub>1</sub>	90,50	78,77	85,38	84,883
A <sub>1</sub> V <sub>2</sub>	85,61	84,79	88,52	86,306
A <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	83,64	81,10	85,76	83,5
A <sub>2</sub> V <sub>1</sub>	80,26	77,40	78,53	78,73
A <sub>2</sub> V <sub>2</sub>	86,49	78,59	82,31	82,463
A <sub>2</sub> V <sub>3</sub>	78,40	86,78	82,10	82,426
A <sub>3</sub> V <sub>1</sub>	88,27	84,09	88,18	86,846
A <sub>3</sub> V <sub>2</sub>	89,70	83,98	85,01	86,23
A <sub>3</sub> V <sub>3</sub>	85,59	83,38	84,42	84,883

Rata-rata nilai *volatile* tertinggi terdapat pada sampel dengan perlakuan berat 300 gr pada kecepatan 16 RPM dan nilai *volatile* terendah pada perlakuan berat 200 gr pada kecepatan 16 RPM (Tabel 4.4 dan 4.5).

#### 4.1.4 Lignin, Selulosa, dan Hemiselulosa

Pengujian nilai lignoselulosa dilakukan untuk mengukur kandungan lignin, hemiselulosa dan selulosa yang terdapat dalam pelet TKKS. Sampel yang diuji nilai lignoselulosanya adalah sampel yang melalui proses torefaksi dengan berat 100 gr, 200 gr dan 300 gr dan tanpa torefaksi (Tabel 4.6).

Tabel 4.6. Kandungan Hemiselulosa, Selulosa dan lignin dalam sampel

Bahan	Hemiselulosa (%)	Selulosa (%)	Lignin (%)
Berat 100 gr	23	34	41
Berat 200 gr	24	30	39
Berat 300 gr	23	34	33
Tanpa Torefaksi	26	34	25

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa bahwa kandungan hemiselulosa yang lebih sedikit dibandingkan dengan kandungan selulosa dan lignin. Hal ini disebabkan oleh sifat kandungan hemiselulosa yang lebih cepat terurai dibandingkan kandungan selulosa dan lignin.

#### 4.2. Perubahan Nilai Kalor, Kadar Abu, Volatile, dan Lignoselulosa Dari Perlakuan kecepatan dan waktu Torefaksi pada TKKS

##### 4.2.1. Nilai Kalor

Nilai kalor diartikan sebagai total energi yang saat proses pembakaran yang menentukan mutu pelet TKKS. Perlakuan pada tahap ini adalah ukuran kecepatan putar torefaksi dan waktu tinggal. Huruf W<sub>1-3</sub> merupakan variasi kecepatan (16, 31, 37 RPM), dan T<sub>1-3</sub> adalah variasi waktu tinggal (20, 30, 45 menit). Sampel yang diuji terdiri dari 10 ulangan, dan 1 sampel tanpa proses torefaksi. Berikut ini adalah hasil dari uji nilai kalor (Tabel 4.7).

Nilai kalor pelet TKKS torefaksi dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Nilai kalor pelet TKKS

Sampel	Berat Sampel Uji (g)	Nilai Kalor (MJ/g)
W1T1	0,50	16,57
W1T2	0,48	17,60
W1T3	0,38	18,23
W2T1	0,50	17,27
W2T2	0,48	15,59
W2T3	0,45	17,12
W3T1	0,43	16,99
W3T2	0,45	16,86
W3T3	0,39	17,41

Pada penelitian ini, didapatkan nilai kalor pelet TKKS tanpa melalui proses torefaksi sebesar 15,82 MJ/g. Setelah melalui proses torefaksi, nilai rata-rata kalor sebesar 17,07 MJ.

Namun, nilai kalor terendah terdapat pada perlakuan 31 rpm dengan waktu tinggal torefaksi 30 menit. Nilai kalor tertinggi terdapat pada perlakuan 16 rpm dengan waktu tinggal torefaksi 45 menit.

#### 4.2.2. Kadar Abu

Abu merupakan padatan anorganik yang timbul dari pembakaran suatu bahan TKKS. Kadar abu dianalisis dengan mengabukan sampel pada suhu yang sangat tinggi ( $\pm 1000$  °C). Abu tersebut berasal dari bahan-bahan mineral yang terikat dalam struktur karbon biomassa. Penentuan kadar abu ini berhubungan erat dengan jumlah kandungan mineral yang ada dalam suatu bahan TKKS.

Berikut ini adalah nilai kadar abu tanpa torefaksi dan sesudah torefaksi (Tabel 4.8) :

Tabel 4.8. Kadar abu Tanpa torefaksi

Sampel	Kadar Abu (%)
Tanpa Torefaksi	12,756

Tabel 4.9. Kadar abu pelet TKKS setelah torefaksi

Perlakuan	Ulangan			Rata-rata (%)
	I (%)	II (%)	III (%)	
W1T1	18,574	15,637	13,650	15,953
W1T2	14,714	19,604	19,458	17,926
W1T3	15,113	16,588	20,189	17,297
W2T1	13,762	16,179	19,336	16,426
W2T2	16,339	18,377	15,492	16,736
W2T3	18,051	13,981	16,952	16,328
W3T1	17,323	19,874	13,913	17,037
W3T2	19,240	19,646	18,139	19,008
W3T3	17,880	13,685	13,943	15,169

Rerata kadar abu tertinggi terdapat pada sampel dengan waktu tinggal torefaksi 30 menit dengan kecepatan putaran 37 RPM dan kadar abu terendah pada sampel dengan perlakuan waktu tinggal 13,687 % pada kecepatan 37 RPM (Tabel 4.8 dan 4.9). Semakin tinggi kandungan abu pada bahan TKKS menunjukkan bahwa nilai kalor dari bahan bakar tersebut juga semakin rendah.

#### 4.2.3. Kadar *Volatile*

Kadar *volatile matter* TKKS diartikan sebagai kecepatan TKKS untuk dapat terbakar. Kadar *volatile* bahan (*Volatile Matter*) didapatkan dengan memanaskan pelet TKKS ke dalam *furnace* pada temperatur  $900 \pm 15$  °C selama 15 menit. Bahan-bahan ber-*volatile* menentukan kemampuan pembakaran suatu pelet TKKS. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *volatile*

pelet TKKS yaitu suhu, waktu, ukuran partikel, dan kecepatan pemanasan pada proses torefaksi. TKKS dengan kandungan *volatile matters* tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar nilai kalor yang dimiliki akan dilepaskan sebagai uap dalam pembakaran.

Tabel 4.10. Kadar *volatile* tanpa torefaksi

Sampel	<i>Volatile</i> (%)
Tanpa Torefaksi	87,2439

Tabel 4.11. Kadar *volatile* pelet TKKS setelah torefaksi

Perlakuan	Ulangan			Rata-rata (%)
	I (%)	II (%)	III (%)	
W1T1	81,425	84,363	86,349	84,046
W1T2	85,285	80,395	80,541	82,074
W1T3	84,886	83,411	79,811	82,703
W2T1	86,237	83,821	80,663	83,574
W2T2	83,660	81,622	84,507	83,263
W2T3	81,948	86,018	83,047	83,671
W3T1	82,676	19,874	86,086	82,962
W3T2	80,759	80,353	81,860	80,991
W3T3	82,119	86,314	86,056	84,830

Pada perlakuan 16 RPM, menghasilkan nilai rata-rata *volatile* sebesar 83,12%. Pada perlakuan 31 RPM, menghasilkan nilai rata-rata *volatile* 83,50%, dan pada perlakuan 37 RPM menghasilkan rata-rata nilai *volatile* 84,28% (Tabel 4.10 dan 4.11).

#### 4.2.4. Lignin, Selulosa, dan Hemiselulosa

Kandungan nilai lignin selulosa, dan hemiselulosa yang di ukur pada pelet TKKS yang meliputi pelet TKKS tanpa torefaksi dan dengan tiga variasi waktu tinggal yaitu 20 menit, 30 menit, dan 45 menit. Kandungan lignin selulosa, dan hemiselulosa disajikan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12. Kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa

Perlakuan	Hemiselulosa(%)	Selulosa(%)	Lignin(%)
Tanpa Torefaksi	26	34	25
20 Menit	25	25	32
30 Menit	25	34	39

Dari hasil pengamatan diperoleh nilai kandungan hemiselulosa pelet TKKS tanpa torefaksi turun dari 26% (tanpa torefaksi) menjadi 17% pada waktu 45 menit (waktu tinggal), sedangkan kandungan nilai selulosa tanpa torefaksi 34% dan setelah torefaksi sebesar 47%. Kandungan lignin tanpa torefaksi 25% dan setelah torefaksi meningkat menjadi 40% pada waktu 45 menit proses torefaksi (waktu tinggal). Hal ini diakibatkan oleh terdegradasinya kandungan hemiselulosa pada saat proses torefaksi sehingga menyebabkan kehilangan berat massa pada biomassa, dan menurunnya hemiselulosa, sedangkan persentase nilai selulosa dan lignin meningkat.

### 4.3. Perubahan Nilai Kalor, Kadar Abu, Volstile Dan Lignoselulosa Dari Torefaksi Cangkang Kelapa Sawit.

#### 4.1.2. Nilai Kalor

Nilai kalor diartikan sebagai total energi yang saat proses pembakaran yang menentukan mutu cangkang sawit. Sampel yang diuji terdiri dari 10 ulangan dengan 1 sampel tanpa proses torefaksi. Berikut ini adalah hasil dari uji nilai kalor cangkang sawit tanpa torefaksi (Tabel 4.7). Nilai kalor pada cangkang sawit tanpa torefaksi yaitu 19,51 MJ dengan berat sampel sebesar 0,48 gr.

Tabel 4.13. Nilai Kalor Cangkang Sawit Tanpa Torefaksi

Sampel (gr)	Nilai Kalor (MJ)
0,48	19,51

Tabel 4.14. Nilai Kalor Cangkang Sawit Tanpa Torefaksi

Nilai Kalor Cangkang Sawit		
sampel	berat sampel (gr)	nilai kalor(MJ)
Kecil (300)	0,58	22,63
Sedang (300)	0,56	25,15
Besar (300)	0,57	25,34
Tidak toref	0,48	19,51

Pada penelitian ini, didapatkan peningkatan nilai kalor cangkang sawit tanpa melalui proses torefaksi yaitu dari 19,51 MJ/g (tanpa torefaksi) menjadi 22-25 MJ/g. Nilai kalor terendah terdapat pada sampel kecil dengan nilai kalor sebesar 22,63 MJ, sedangkan nilai kalor tertinggi dihasilkan oleh cangkang sawit pada sampel besar dengan nilai kalor sebesar 25,34 MJ.

#### 4.1.3. Kadar Abu

Abu merupakan padatan anorganik yang timbul dari pembakaran suatu bahan cangkang sawit. Kadar abu dianalisis dengan mengabukan sampel pada suhu yang sangat

tinggi ( $\pm 1000$  °C). Abu tersebut berasal dari bahan-bahan mineral yang terikat dalam struktur karbon biomassa. Penentuan kadar abu ini berhubungan erat dengan jumlah kandungan mineral yang ada dalam suatu bahan cangkang sawit.

Berikut ini adalah nilai kadar abu tanpa torefaksi dan sesudah torefaksi (Tabel 4.15 dan 4.16) :

Tabel 4.16. Kadar Abu Tanpa Torefaksi

Sampel	Kadar Abu Tanpa Torefaksi		Rumus Abu	Rata-rata
	Berat abu (gr)	berat sampel (gr)	Berat abu/berat sampel*100%	
B1	0,1237	4,823	2,56%	2,95%
B2	0,138	4,705	2,93%	
B3	0,1666	4,977	3,35%	
S1	0,1272	4,190	3,04%	2,84%
S2	0,1468	4,697	3,12%	
S3	0,1111	4,709	2,36%	
K1	0,1211	4,652	2,60%	2,75%
K2	0,1231	4,608	2,67%	
K3	0,1551	5,186	2,99%	

Pada syarat SNI 01-1683-1989 tentang kandungan kadar abu, nilai kadar abu yang baik sebesar 4%. Pada penelitian ini rata-rata nilai kadar abu yang dikandung pada cangkang sawit tanpa torefaksi pada sampel besar sebesar 2,95%, sampel sedang sebesar 2,84% dan pada sampel kecil sebesar 4,73%. Dari hasil ini, nilai kandungan abu pada cangkang telah memenuhi untuk digunakan sebagai bahan bakar.

Tabel 4.17 Kadar Abu Cangkang Sawit Torefaksi

Sampel	Kadar Abu Tanpa Torefaksi		Rumus Abu	Rata-rata
	Berat abu (gr)	berat sampel (gr)	Berat abu/berat sampel*100%	
B1	0,1809	3,0291	5,97%	5,82%
B2	0,1797	3,1054	5,79%	
B3	0,1721	3,0213	5,70%	
S1	0,1344	3,1039	4,33%	4,49%
S2	0,1495	3,1203	4,79%	
S3	0,1354	3,1032	4,36%	
K1	0,1283	3,2237	3,98%	4,42%
K2	0,1188	3,2698	3,63%	
K3	0,1767	3,1295	5,65%	

Dari hasil pengujian, nilai abu tanpa torefaksi sebesar 2,84-4,73%, namun terjadi peningkatan setelah torefaksi yaitu rata-rata sebesar 4,42 - 5,82 MJ. Semakin tinggi kandungan abu pada cangkang sawit menunjukkan bahwa nilai kalor dari bahan bakar tersebut juga semakin rendah.

### 4.3.3 Kadar Lignin, Selulosa, Hemiselulosa

Kandungan nilai lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang di ukur pada cangkang sawit meliputi cangkang sawit tanpa torefaksi, dan dengan enam variasi yaitu 300°C (10 menit), 300°C (20 menit), 270°C (20 menit), 300°C (30 menit), 270°C (30 menit), 250°C (30 menit). Kandungan lignin selulosa, dan hemiselulosa disajikan pada tabel 4.18 - 4.20.

Tabel 4.18. Kadar Hemiselulosa Cangkang Sawit Torefaksi

Perlakuan	Ulangan		
	Besar (%)	Sedang (%)	Kecil (%)
Tanpa Torefaksi	25,3	25,2	23,8
300°C (10')	22,0	23,8	22,7
300°C (20')	23,5	23,0	23,2
270°C (20')	20,9	26,5	23,6
300°C (30')	25,5	25,0	27,5
270°C (30')	23,8	24,5	27,3
250°C (30')	26,1	24,4	24,8

Tabel 4.19 Kadar Selulosa Cangkang Sawit Torefaksi

Perlakuan	Ulangan		
	Besar (%)	Sedang (%)	Kecil (%)
Tanpa Torefaksi	23,7	23	21,3
300°C (10')	19,8	22,8	20,8
300°C (20')	22,6	22	22,3
270°C (20')	23	25,4	22,7
300°C (30')	21,3	23,9	22,2
270°C (30')	22,5	23	25,1
250°C (30')	25,6	22,7	23,3

Tabel 4.20 Kadar Lignin Cangkang Sawit Torefaksi

Perlakuan	Ulangan		
	Besar (%)	Sedang (%)	Kecil (%)
Tanpa Torefaksi	33,1	35,5	28,2
300°C (10')	29,5	28,6	30,9
300°C (20')	28,2	33,0	33,3
270°C (20')	29,7	30,2	29,6
300°C (30')	31,7	32,6	35,5
270°C (30')	29,9	30,0	32,1
250°C (30')	30,2	29,5	29,3

Dari hasil pengamatan terjadi peningkatan nilai selulosa dan lignin sebelum torefaksi dan setelah torefaksi. Namun, kandungan hemiselulosa cenderung menurun sebelum torefaksi dan setelah torefaksi (Tabel 18-20). Hal ini diakibatkan oleh terdegradasinya kandungan hemiselulosa pada saat proses torefaksi sehingga menyebabkan kehilangan berat massa pada biomassa cangkang dan menurunnya hemiselulosa, sedangkan persentase nilai selulosa dan lignin meningkat.

**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, hasil pengujian 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 wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas.

Publikasi Q1

**E. PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUPPT). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Mitra Bekerja sama dalam pengadaan Bahan TKKS dan Cangkang Kelapa Sawit

**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.

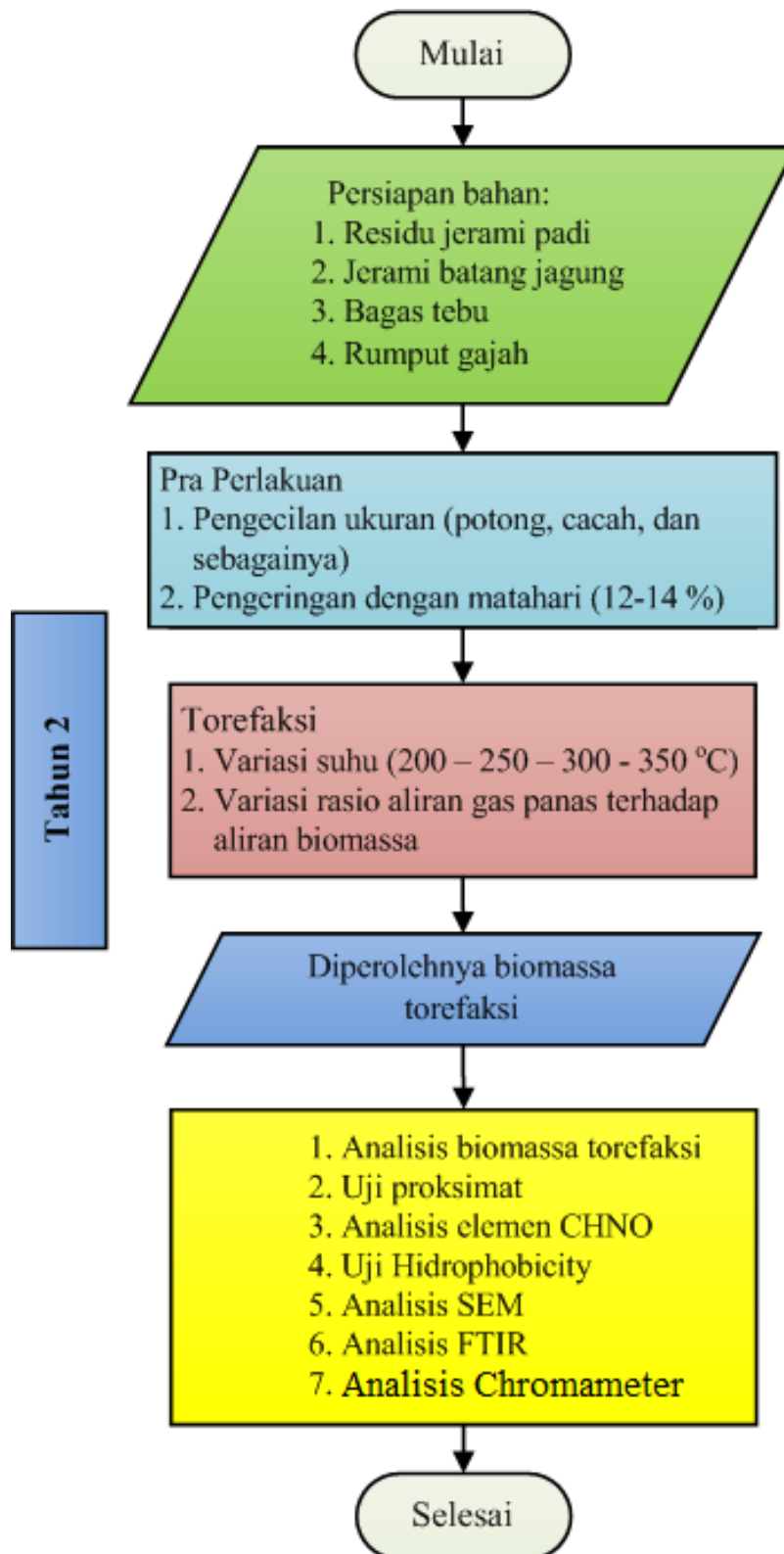
Beberapa nilai hasil analisis kurang masuk akal, sehingga dibutuhkan pengulangan untuk pengujian yang mencapai 10 kali ulangan. Berujuan untuk mendapat hasil yang optimal.

**G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA:** Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya 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.

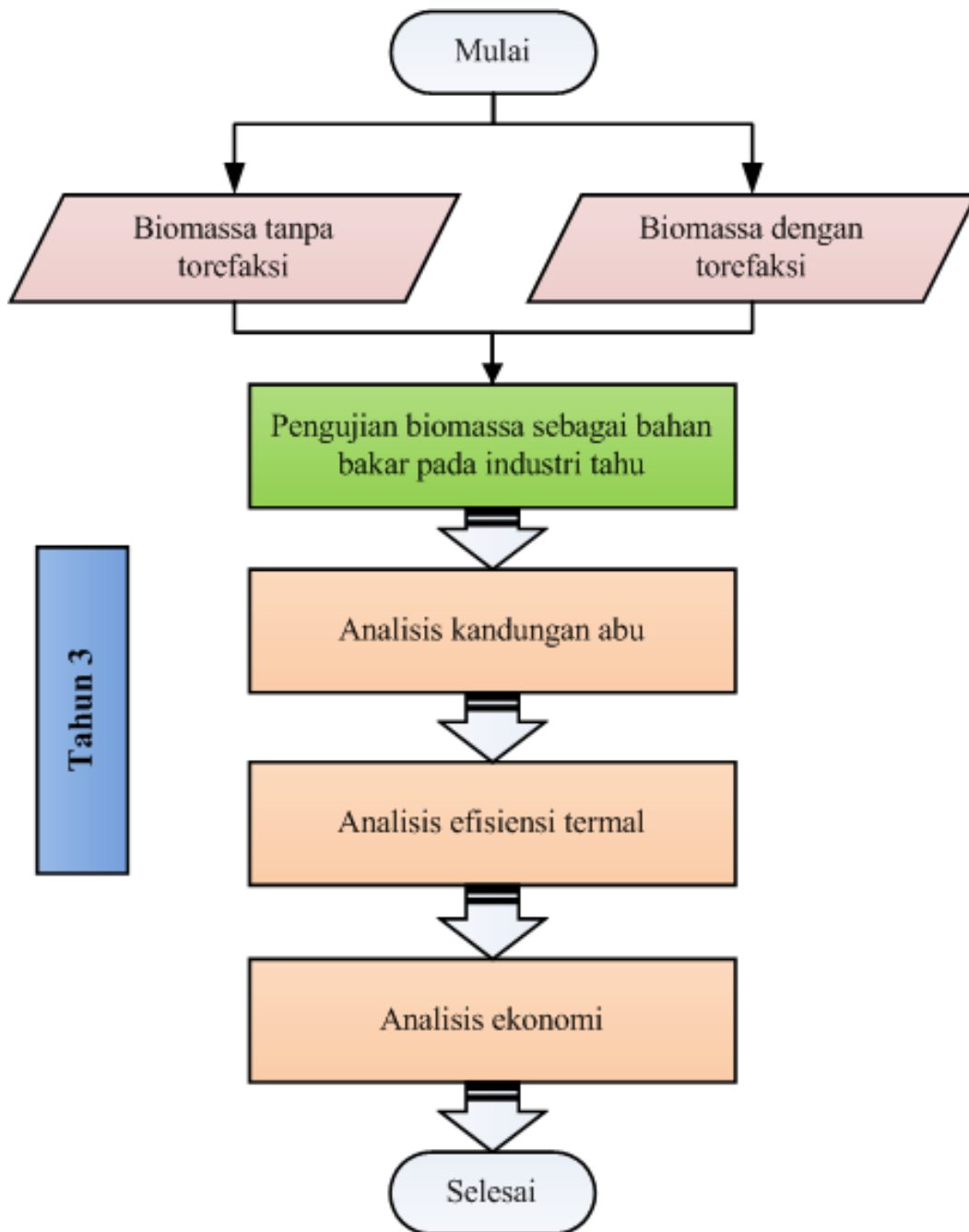
Pada tahun kedua, biomassa berjenis residu yang ketersediaannya melimpah akan dipilih, seperti jerami padi, jerami jagung, bagasse tebu, dan rumput gajah. Bahan-bahan ini dikecilkan hingga panjang 2-3 cm, kemudian dikeringkan hingga kadar air sekitar 12% dan digiling. Bahan kemudian dicetak menjadi pellet putih yang selanjutnya diproses torefaksi dengan cara yang sama seperti pada penelitian tahun pertama.

Pada tahun ketiga, penelitian dilakukan dengan mengaplikasikan penggunaan biomassa tanpa dan dengan torefaksi sebagai bahan bakar pada industri tahu. Pengamatan dilakukan terhadap kebutuhan bahan bakar, efisiensi termal, dan karakteristik kimia abu yang dihasilkan. Analisis juga dilakukan untuk menghitung keekonomian penggunaan bahan bakar biomassa torefaksi.





**Tahun Ke dua**



**Tahun Ke Tiga**

**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. Ministry of Energy and Mineral Resources. 2016. *Handbook of Energy Economic and Statistics*. Jakarta.
2. Mahidin. 2018. *Peluang dan Tantangan dalam Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam Bidang Ilmu Teknik Kimia. Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, 27 September 2018.

3. Tumuluru, J.S., Sokhansanj, S., Hess, R., Wright, W.T., and Boardman, R.D. 2011. A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications. *Industrial Biotechnology* : 384-401. DOI: 10.1089/ind .2011.0014.
4. Alamsyah, R., Siregar, N.C., dan F. Hasanah. 2017. Torrefaction study for energy upgrading on Indonesian biomass as low emission solid fuel. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 65: 1-10. DOI:10.1088/1755-1315/65/1/012051.
5. Acharya, B., Sule, I. dan Dutta, A. 2012. A review on advances of torrefaction technologies for biomass processing. *Biomass Conv. Bioref.* **2**: 349–369.
6. Chen, W-H., Peng, J., dan Bi, X.T. 2015. A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **44**: 847–866.
7. Chen, W.H. dan Kuo, P.C. 2010. A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. *Energy* **35**: 2580–2586.
8. Wang, G.J., Luo, Y.H, Deng, J., Kuang J.H., and Zhang, Y.L. 2011. Pretreatment of biomass by torrefaction. *Chinese Sci Bull.* **56**: 1442–1448.
9. Bergman, P.C.A., Boersma, A.R., Kiel, J.H.A., Prins, M.J., Ptasinski, K.J., and Janssen F.G.G.J. 2005. Torrefied biomass for entrained-flow gasification of biomass. Report ECN-C--05-026.
10. Dutta, A. dan Leon, M.A. 2011. Pros and Cons of Torrefaction of Woody Biomass. *Short-Rotation Afforestation and Agroforestry Systems for Energy Purposes and GHG Reduction: Joint ecoETI & CEF Projects Workshop*. March, 2011.
11. van der Stelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A., and Ptasinski, K.J. 2011. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. *Biomass and Energy* **35**: 3748-3762.
12. Irawan, A., Riadz, T., dan Nurmalisa. 2015. Proses torefaksi tandan kosong kelapa sawit untuk kandungan hemiselulosa dan uji kemampuan penyerapan air. *Reaktor*, 15(3): 190-195.
13. Prins, M.J., Ptasinski, K.J., Janssen, F.J.J.G. 2006. More efficient biomass gasification via torrefaction. *Energy* **31**: 3458–3470.
14. Lee, S. 2017. Clean Fuel Production from Forest Resources and Distributed Power Generation with Microgrid/Energy Network. *UNILA-KIER Technical Workshop*. Bandar Lampung, 23 November, 2017

Daftar capaian Luaran Wajib belum diisi:

1. Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional, target: accepted/published

Daftar capaian Luaran Tambahan belum diisi:

1. Keikutsertaan dalam Seminar Internasional, target: sudah dilaksanakan