

**PENGARUH PUTARAN DAN LAMA WAKTU TOREFAKSI TERHADAP
KUALITAS PELET TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

(SKRIPSI)

Oleh

RAYA NITA



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

PENGARUH PUTARAN DAN LAMA WAKTU TOREFAKSI TERHADAP KUALITAS PELET TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Oleh

RAYA NITA

Indonesia memiliki potensi tanaman kelapa sawit yang berlimpah. Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dimanfaatkan untuk dijadikan energi terbarukan berupa pelet. Bioenergi pelet TKKS memiliki kendala untuk digunakan sebagai bahan bakar yaitu pada proses penyimpanan pelet bisa mengalami dekomposisi anaerobik yang akan meningkatkan suhu dan bisa memicu terjadinya kebakaran bahan. Selain itu, nilai kalor yang rendah memerlukan suatu metode untuk meningkatkan kualitas pelet TKKS melalui torefaksi, yang merupakan suatu proses degradasi termal dengan laju pemanasan rendah. Torefaksi dilakukan pada temperatur 200–300°C dengan membatasi udara pada tabung torefaksi. Pada proses torefaksi, putaran dan lama waktu penting untuk diperhatikan karena memberikan pengaruh terhadap kualitas pelet yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh RPM dan lama waktu proses torefaksi terhadap kualitas pelet seperti kadar air, kadar abu, nilai kalor dan kandungan ligneselulosa.

Penelitian dilakukan pada bulan Juni sampai dengan Agustus 2019 di Lab. Daya Alat dan Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Eksperimen dilakukan dengan kombinasi perlakuan lama waktu torefaksi (20, 30, dan 45 menit) dan kecepatan putar reaktor torefaksi (16, 31, 37 RPM) dengan 3 kali ulangan. Setiap unit percobaan menggunakan 300 gram pelet yang dipanaskan dalam reaktor torefaksi yang diisi dengan 1,5 kg pasir. Pengukuran dilakukan terhadap *bulk density*, *massa density*, rendemen torefaksi, nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar *volatil*, *hidropobicity* dan kandungan ligneselulosa.

Hasil dari penelitian ini adalah proses torefaksi menghasilkan nilai rendemen antara 80,11% - 87,11%, nilai rata-rata *bulk density* pada pelet TKKS setelah proses torefaksi sebesar 0,35g/ml sedangkan sebelum torefaksi sebesar 0,43 g/cm³, nilai *massa density* pada pelet TKKS sebelum torefaksi sebesar 1,49 g/cm³, setelah torefaksi nilai *massa density* turun menjadi 1,25 g/cm³. Nilai kadar air rata-rata pelet torefaksi sebesar 0,40%, turun dari kadar air pelet TKKS sebelum torefaksi sebesar 6,86%. Kandungan kadar abu pelet TKKS sebelum ditorefaksi sebesar 12,75% setelah proses torefaksi nilai rata-rata kadar abu mencapai 16,36% dan kandungan *volatile* sebelum torefaksi sebesar 87,24% dan setelah torefaksi sebesar 83,63%. Kandungan hemiselulosa pada pelet TKKS sebelum torefaksi sebesar 26%, setelah proses torefaksi kandungan hemiselulosa menurun sebesar 25%-17%. Pelet sebelum torefaksi pelet hancur dalam waktu 1 menit di dalam air dan setelah torefaksi pelet tidak hancur dalam waktu 24 jam di dalam air.

Kata kunci : kelapa sawit, limbah, pelet, TKKS, torefaksi

ABSTRACT

THE EFFECT OF ROTATION AND DURATION OF TOREFACTION ON THE QUALITY OF PELLET FROM OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCHES

Oleh

RAYA NITA

Indonesia has abundant oil palm potential. Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) can be used as renewable energy in the form of pellets. Bioenergy of OPEFB pellets has problems to be used as fuel, namely during storage pellets may undergo anaerobic decomposition which will increase the temperature and can trigger a fire of the material. In addition, the low heating value requires a method to improve the quality of OPEFB pellets through torrefaction, which is a process of thermal degradation with a low heating rate. Torrefaction is carried out at a temperature of 200-300 ° C by restricting the air in the torrefaction reactor. In the torrefaction process, rotation and duration are important to consider because they have an influence on the quality of the pellets produced. The purpose of this study was to determine the effect of reactor speed and duration of the torrefaction process on the quality of pellets such as water content, ash content, calorific value, hydrophobicity and lignocellulose content.

The study was conducted in June to August 2019 in the Lab. Agricultural Power and Machinery, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Lampung. Experiment was conducted with treatment combination of torrefaction duration (20, 30, and 45 minutes) and rotational speed of the reactor (16, 31, 37 RPM) with 3 replications. Each experimental unit used 300 grams of pellets that are heated to temperature 200-250°C in a reactor filled with 1,5 kg of sand. Measurements were made for bulk density, mass density, torrefaction yield, pellet's heating value, moisture content, ash content, volatile content, hydrophobicity and lignocellulose content.

The results of this study show that yield of torrefaction process are 80.11% - 87.11%. The average bulk density of OPEFB pellets after the torrefaction process is 0.35 g/ml while before the torrefaction is 0.43 g/cm³, the mass density of OPEFB pellets before torrefaction was 1.49 g/cm³, after torrefaction the mass density value dropped to 1.25 g/cm³. The average water content of the torrefied pellet was 0.40%, down from the moisture content of the OPEFB pellet before the torrefaction of 6.86%. The ash content of OPEFB pellet before torrefaction was 12.75% and after the torrefaction process increase to 16.36%. The volatile content before torrefaction was 87.24% and after torrefaction was 83.63%. Hemicellulose content in OPEFB pellets before torrefaction is 26%, and after torrefaction decreased to 25%-17%. Pellets before torrefaction are destroyed within 1 minute in water and after torrefaction pellets withstand within 24 hours in the water.

Keywords: oil palm, OPEFB, pellets, torrefaction, waste.

**PENGARUH PUTARAN DAN LAMA WAKTU TOREFAKSI TERHADAP
KUALITAS PELET TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**

Oleh

RAYA NITA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2019**

**Judul Skripsi : PENGARUH PUTARAN DAN LAMA
WAKTU TOREFAKSI TERHADAP
KUALITAS PELET TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT**

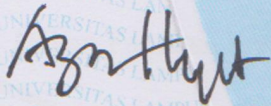
Nama Mahasiswa : RAYA NITA

Nomor Pokok Mahasiswa : 1514071004

Jurusan/PS : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian

UNIVERSITAS LAMPUNG
MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing


Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP. 19650527 199303 1 002


Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.
NIP. 19880325 201504 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian


Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP. 19650527 199303 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P

Sekretaris

: Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc

Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si

2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si

NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 08 Oktober 2019

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Raya Nita** NPM **1514071004** Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis pada karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh komisi pembimbing, 1). Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P. dan 2) Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc. berdasarkan informasi dan pengetahuan yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri, dan hasil dari beberapa sumber (jurnal, internet, buku, dll) dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 31 September 2019
Yang membuat pernyataan



(Raya Nita)
NPM. 1514071004

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kalipapan pada tanggal 15 Februari 1997, sebagai anak keempat dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak (alm) Edison Simamora dan Ibu Maryani Siburian.

Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri 1 Kalipapan pada tahun 2003 dan diselesaikan pada tahun 2009. Penulis menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 3 Negeri Agung pada tahun 2012 dan sekolah menengah atas diselesaikan di SMA Negeri 1 Sungkai Utara pada tahun 2015.

Pada tahun 2015, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten Mata Kuliah Perbengkelan. aktif di organisasi Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP), dan Persatuan Oikumene Mahasiswa Kristen Pertanian (POMPERTA).

Pada tahun 2018, penulis melaksanakan Praktik Umum di Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar, Suka Bumi Jawa Barat dengan judul “Mempelajari Pengukuran Kandungan Proksimat Buah kola (*cola nitida*)” selama 30 hari mulai tanggal 17 Juli 2018 sampai 18 Agustus 2018. Pada tahun 2019

penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik periode I tahun 2019 di Kasui 1 Kecamatan Kasui Kabupaten Way Kanan selama 40 hari.

Persembahan

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kesehatan, kemudahan serta keberkahan dalam setiap langkah dan perjuangan

Kupersembahkan karya ini kepada :

Kedua orangtuaku

Ayah (alm Edison Simamora) dan Ibu (Maryani Siburian) yang selalu memberiku doa, nasihat, dan kasih sayang serta pengorbanan yang tak tergantikan untuk menjalani rintangan yang ada didepanku.

Abang dan Kakakku

Jasmer Simamora, Parlindungan Simamora, Jamanat Pasaribu, dan Nur Elya Simamora yang telah memberikan doa dan semangat untukku.

Serta

*Almamater Tercinta Universitas Lampung
Fakultas Pertanian
Jurusan Teknik Pertanian
Teknik Pertanian Angkatan 2015*

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini Didanai dari Badan Pengelola Dana

Perkebunan Kelapa Sawit

Atas Nama Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.

yang berjudul “Black Pellet Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai
Bahan Baku Proses Gasifikasi : Peningkatan Mutu Biomassa Melalui
Torefaksi Comb (Counter Flow Multi Baffle) Pyrolyzer”

Nomor Kontrak : PRJ-85/DPKS/2018

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat dan penyertaan-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Putaran dan Lama Waktu Torefaksi Terhadap Kualitas Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit”** sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian. Penulis menyadari banyaknya kekurangan dan hambatan dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, motivasi, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Ketua Jurusan dan pembimbing satu yang telah meluankan waktu untuk memberi bimbingan, pengarahan, dan juga yang mendanai penelitian ini hingga selesai.
3. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP, M.Sc , selaku pembimbing dua yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
4. Ibu Dr. Siti Suharyatun, S.TP, M.Si , selaku dosen pembahas yang telah meluangkan waktu memberikan saran dan masukannya.

5. Seluruh dosen Universitas Lampung yang telah memberikan pengetahuan, dan ilmu selama penulis berada dibangku kuliah.

Penulis menyadari banyaknya kekurangan dalam skripsi ini, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Bandar Lampung, 05 September 2019

Penulis

Raya Nita Simamora

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR SIMBOL.....	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Kelapa Sawit.....	5
2.2. Energi Terbarukan	7
2.3. Pelet TKKS.....	9
2.3.1. Pembuatan Pelet TKKS.....	10
2.4. Torefaksi.....	12
2.4.1. Proses Torefaksi	13
2.4.2. Parameter Torefaksi	15
2.4.3. Produk Torefaksi	16
2.5 Analisis Mutu	17
III. METODE PENELITIAN.....	19

3.1 Waktu dan Tempat	19
3.2 Alat Dan Bahan	19
3.3. Rancangan Percobaan.....	21
3.4. Analisis Anova	21
3.5. Prosedur Penelitian.....	22
3.6 Prosedur Penelitian.....	24
3.6.1. Persiapan Alat dan Bahan.....	24
3.6.2. Proses Pelaksanaan Torefaksi Pelet TKKS	24
3.7. Analisis Lab Yang Diamati	25
3.7.1. Nilai Kalor	25
3.7.2. Kadar Air.....	25
3.7.3. Kadar Abu	26
3.7.4. <i>Hidropobicity</i>	26
3.7.5. Kadar <i>Volatile</i>	27
3.7.6. Kandungan Lignin, Selulosa, dan Hemiselulosa.....	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Proses Torefaksi	29
4.2. Sifat Pelet TKKS Sebelum dan Sesudah Torefaksi.....	32
4.2.1. <i>Bulk density</i>	32
4.2.2. <i>Massa Density</i>	35
4.2.3. Nilai Kalor.....	39
4.2.4. Kadar Air.....	41
4.2.5. Kadar Abu	46
4.2.6. Kadar <i>Volatile</i>	48
4.2.7. <i>Hidropobicity</i>	50
4.2.8. Lignin,Selulosa,dan Hemiselulosa	54
V. KESIMPULAN	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Tata letak Pengacakan Percobaan	22
Tabel 2. Nilai rendemen torefaksi pelet TKKS.....	29
Tabel 3. Uji anova putaran dan lama waktu terhadap nilai rendemen torefaksi ...	30
Tabel 4. Uji lanjut putaran proses torefaksi pelet TKKS terhadap nilai rendemen.....	30
Tabel 5. Uji lanjut lama waktu proses torefaksi pelet TKKS terhadap nilai rendemen.....	31
Tabel 6. <i>Bulk density</i> Sebelum Torefaksi.....	32
Tabel 7. Nilai <i>bulk density</i> pelet TKKS	33
Tabel 8. Uji anova putaran dan lama waktu torefaksi terhadap <i>bulk density</i>	33
Tabel 9. Uji lanjut putaran proses torefaksi pelet TKKS terhadap <i>bulk density</i> ...	34
Tabel 10. Uji lanjut lama waktu proses torefaksi pelet TKKS terhadap <i>bulk density</i>	35
Tabel 11. <i>Massa density</i> sebelum torefaksi.....	36
Tabel 12. Nilai <i>massa density</i> pelet TKKS	36
Tabel 13. Uji anova putaran dan lama waktu torefaksi terhadap <i>massa density</i> ...	37
Tabel 14. Uji lanjut putaran proses torefaksi pelet TKKS terhadap <i>massa density</i>	38
Tabel 15. Uji lanjut lama waktu torefaksi pelet TKKS terhadap <i>massa density</i> ...	39
Tabel 16. Nilai kalor pelet TKKS	40
Tabel 17. Kadar air sebelum torefaksi	42
Tabel 18. Nilai kadar air pelet TKKS	42

Tabel 19. Uji anova putaran dan lama waktu torefaksi terhadap kadar air	43
Tabel 20. Nilai kadar air kesetimbangan sebelum dan sesudah torefaksi	44
Tabel 21. Kadar abu sebelum torefaksi	46
Tabel 22. Kadar abu pelet TKKS	46
Tabel 23. Uji anova putaran dan lama waktu torefaksi terhadap kadar abu	47
Tabel 24. Kadar <i>volatile</i> sebelum torefaksi	48
Tabel 25. Kadar <i>volatile</i> pelet TKKS	48
Tabel 26. Uji anova putaran dan lama waktu torefaksi terhadap kadar <i>volatile</i> ...	49
Tabel 27. Kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa	54

LAMPIRAN

Tabel 28. Uji anova Kadar Air	63
Tabel 29. Uji anova <i>bulk density</i>	63
Tabel 30. Uji anova massa <i>density</i>	64
Tabel 31. Uji anova rendemen torefaksi	64
Tabel 32. Uji anova kadar abu	65
Tabel 33. Uji anova kadar <i>volatile</i>	65
Tabel 34. Data Hemiselulosa	66
Tabel 35. Data <i>Bulk density</i>	67
Tabel 36. Data Massa <i>density</i>	68
Tabel 37. Data Rendemen Torefaksi	69
Tabel 38. Data Kadar air	70
Tabel 39. Data Kadar abu	71
Tabel 40. Data Kadar <i>volatile</i>	72

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit	7
Gambar 2. Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit	8
Gambar 3. Pelet TKKS	10
Gambar 4. Mekanisme Torefaksi	13
Gambar 5. Produk Torefaksi	17
Gambar 6. Tampak alat torefaksi	20
Gambar 7. Alat torefaksi mini.....	20
Gambar 8. Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 9. Proses Torefaksi	24
Gambar 10. Grafik Nilai Kalor	41
Gambar 11. Grafik kadar air kesetimbangan	45
Gambar 12. Perlakuan 16 RPM dengan waktu 20 menit.....	50
Gambar 13. Perlakuan 16 RPM dengan waktu 30 menit.....	50
Gambar 14. Perlakuan 16 RPM dengan waktu 45 menit.....	51
Gambar 15. Perlakuan 31 RPM dengan waktu 20 menit.....	51
Gambar 16. Perlakuan 31 RPM dengan waktu 30 menit.....	51
Gambar 17. Perlakuan 31 RPM dengan waktu 45 menit.....	51
Gambar 18. Perlakuan 37 RPM dengan waktu 20 menit.....	52
Gambar 19. Perlakuan 37 RPM dengan waktu 30 menit.....	52
Gambar 20. Perlakuan 37 RPM dengan waktu 45 menit.....	52
Gambar 21. Tanpa Torefaksi.....	52

Gambar 22. Pengukuran <i>bulk density</i>	73
Gambar 23. Pengukuran massa <i>density</i>	73
Gambar 24. Proses tanur	73
Gambar 25. Proses uji hemiselulosa	74
Gambar 26. Proses pengukuran nilai kalor	74
Gambar 27. Proses penghalusan bahan.....	74
Gambar 28. Persiapan bahan torefaksi.....	74
Gambar 29. Pengukuran suhu torefaksi	75
Gambar 30. Bahan sebelum torefaksi	75
Gambar 31. Bahan setelah torefaksi.....	75
Gambar 32. Hydropobicity selama 5 menit, 30 menit, 1 jam, dan 6 jam	78

DAFTAR SIMBOL

- NK = Nilai kalor (kal/gr)
- Δt = Perbedaan suhu rata-rata
- Mbb = Massa bahan bakar
- W = Energi ekuivalen dari kalorimeter
- B = Koreksi panas kawat besi
- Ba = Berat bahan tanpa cawan sebelum dioven
- Bf = berat bahan tanpa cawan setelah dioven
- a = Berat botol timbang + tutup (gr)
- b = Berat botol timbang +tutup + sampel (gr) sebelum pembakaran
- c = Berat botol + tutup + sampel (gr) setelah pembakaran

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi tanaman kelapa sawit yang sangat berlimpah. Luas lahan perkebunan kelapa sawit Indonesia pada tahun 2016 diperkirakan mencapai 11,67 juta Hektar (Ha). Jumlah ini terdiri dari perkebunan rakyat seluas 4,76 juta Ha, perkebunan swasta 6,15 juta Ha, dan perkebunan negara 756 ribu Ha (Dirjen Perkebunan RI, 2017). Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah padat hasil pabrik kelapa sawit yang jumlahnya cukup besar, yaitu sekitar 6 juta ton per tahun. Limbah TKKS dapat dimanfaatkan sebagai sumber untuk dijadikan energi baru terbarukan. Limbah tandan kosong kelapa sawit pada saat ini tengah dikembangkan menjadi energi alternative yang dikonversi menjadi bioenergi. Pemanfaatan dari limbah kelapa sawit ini dilakukan untuk mengurangi dampak negatif limbah yang sudah tidak terpakai. Pemanfaatan limbah yang dapat dikonversi menjadi energi alternative untuk menggantikan kebutuhan energi dalam negeri yang saat ini masih sangat bergantung dari sumber energi fosil.

Salah satu pemanfaatan limbah TKKS untuk dijadikan energi alternative adalah pembuatan pelet dari TKKS. Pelet TKKS memiliki beberapa kendala untuk digunakan sebagai bahan bakar yaitu pada proses penyimpanan pelet akan mengalami dekomposisi anaerobik yang akan meningkatkan suhu dan bisa

memicu terjadinya kebakaran bahan dalam suatu ruangan, ketidakseragaman komposisi di dalamnya serta nilai kalor rendah. Kendala-kendala tersebut menyebabkan perlunya suatu metode untuk meningkatkan kualitas pelet TKKS sebagai salah satu alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan. Torefaksi merupakan salah satu metode untuk pengolahan awal biomassa agar kualitas meningkat dan biomassa dapat dipergunakan dalam rentang waktu lama (Basu, 2013).

Proses torefaksi biasanya menggunakan alat berskala besar yang sudah menetapkan satu putaran pada alat. Alat torefaksi skala kecil yang sering digunakan hingga pada saat ini masih banyak menggunakan peralatan manual, yaitu dengan memutar tabung torefaksi dengan menggunakan tenaga manusia. Alat torefaksi memiliki keterbatasan yang tidak efektif dan efisiensi untuk itu dimodifikasi alat torefaksi mini dari alat penyangrai kopi mini, dengan mengatur putaran dan lama waktu dapat menghasilkan kualitas pelet TKKS yang baik.

Torefaksi merupakan suatu proses degradasi termal dengan laju pemanasan yang rendah. Pada temperatur 200–300°C dengan membatasi udara pada tabung pemanas, namun pada proses torefaksi putaran dan lama waktu sangat penting untuk diperhatikan karena memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kadar air yang akan dihasilkan. Silaen et al., (2014) menyatakan kadar air mengalami kenaikan seiring meningkatnya kecepatan putaran dan waktu proses torefaksi. Peningkat putaran dan lama waktu torefaksi yang dilakukan menyebabkan kadar air suatu bahan akan semakin rendah. Baud et al., (2006) menyatakan nilai kalor merupakan parameter pengamatan yang sangat penting untuk

menentukan kualitas pelet. Tingginya nilai kalor maka semakin besar nilai bahan bakar yang dikandung pada pelet TKKS. Proses torefaksi dapat mengubah sifat hidrofilik (tidak tahan terhadap air) menjadi hidrofobik (tahan terhadap air). Sifat hidrofobik dalam proses penyimpanan pelet TKKS lebih tahan lama dibanding dengan penyimpanan pelet sebelum ditorefaksi (Nasrin et al. 2011). Oleh karena itu diperlukan penelitian tentang pengaruh variasi putaran dan lama waktu agar dapat mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas pelet TKKS hasil torefaksi.

1.2. Rumusan Masalah

Meningkatnya industri tanaman kelapa sawit mengakibatkan berlimpahnya limbah tanaman kelapa sawit, misalnya limbah tandang kosong kelapa sawit (TKKS). Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit dapat dikonversi menjadi energi alternative yaitu biomassa pelet TKKS, untuk menggantikan kebutuhan energi dalam negeri yang saat ini masih sangat bergantung dari sumber energi fosil. Petani kelapa sawit tidak semuanya memiliki lahan pertanian, untuk itu limbah TKKS dijadikan biomassa pelet sebagai energi alternatif yang baru dan terbarukan untuk memenuhi energi yang semakin meningkat.

Pelet TKKS memiliki beberapa kendala untuk digunakan sebagai bahan bakar yaitu pada proses penyimpanan pelet akan mengalami dekomposisi anaerobik yang menyebabkan kebakaran bahan dalam suatu ruangan, ketidak seragaman komposisi di dalamnya serta nilai kalor rendah. Putaran dan lama waktu proses torefaksi sangat penting diperhatikan karena memberikan pengaruh signifikan

terhadap nilai kadar air yang akan dihasilkan, rendahnya kadar air pada suatu bahan akan meningkatkan nilai kalor yang dikandung pada pelet tandan kosong kelapa sawit. Lalu bagaimana pengaruh putaran dan lama waktu proses torefaksi untuk mendapatkan kualitas yang baik pada pelet tandan kosong kelapa sawit tersebut? Hasil proses torefaksi inilah yang akan peneliti lakukan.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh torefaksi terhadap sifat bahan bakar pelet TKKS.
2. Mengetahui pengaruh RPM dan lama waktu proses torefaksi terhadap nilai kandungan kadar air, kadar abu, kadar *volatile*, nilai kalor, dan ligneselulosa pada pelet TKKS.
3. Mengatahui pengaruh lama waktu proses torefaksi terhadap kualitas pelet TKKS.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari melakukan penelitian ini adalah :

1. Sebagai sumber informasi karakteristik bahan bakar tandan kosong kelapa sawit untuk aplikasi di lapangan sebagai sumber energi alternatif.
2. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat.
3. Sebagai sumber bahan bakar pengganti energi fosil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kelapa Sawit

Kelapa sawit dengan nama latin *Elaeis guineensis* merupakan tanaman tropis yang masih tergolong di dalam famili *Palmae* dan tanaman ini berasal dari Afrika Barat akan tetapi, selain di Afrika Barat, tanaman sawit dapat tumbuh di berbagai wilayah, salah satunya dapat ditanam di Indonesia. Pada era sekarang ini, tanaman kelapa sawit sudah mulai terbentuk perkebunan dan sudah ada pabrik untuk pengolahan kelapa sawit. Tanaman kelapa sawit dapat diklasifikasikan menjadi (Pahan, 2008).

Divisi : *Embryophyta Siphonagama*
Kelas : *Angiospermae*
Ordo : *Monocotyledonae*
Famili : *Arecaceae* (dahulu disebut *Palmae*)
Subfamili : *Cocoideae*
Genus : *Elaeis*
Spesies : *E. guineensis*

Kelapa sawit tergolong ke dalam tanaman monokotil, yaitu batangnya tidak mempunyai kambium dan umumnya tidak bercabang. Batang kelapa sawit berbentuk silinder dengan diameter 20 –75 cm. Tinggi maksimum yang ditanam di perkebunan antara 15 –18 m, sedangkan yang di alam mencapai 30m. Tanaman kelapa sawit rata-rata menghasilkan buah sebanyak 20 –22 tandan pertahun.

TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) di Indonesia adalah limbah pabrik kelapa sawit yang jumlahnya sangat melimpah. Pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar) akan dihasilkan TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) sebanyak 22–23% TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) atau sebanyak 220–230 kg TKKS.

Limbah ini belum dimanfaatkan secara baik oleh sebagian besar pabrik kelapa sawit (PKS) dan masyarakat di Indonesia. Pemanfaatan TKKS oleh PKS masih sangat terbatas. Pabrik kelapa sawit (PKS) di Indonesia masih membakar TKKS dalam incinerator, meskipun cara ini sudah dilarang oleh pemerintah. Alternatif pengolahan lainnya adalah dengan menimbun (open dumping), dijadikan mulsa di perkebunan kelapa sawit, atau diolah menjadi kompos. Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah terbesar yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit. Jumlah tandan kosong mencapai 30-35 % dari berat tandan buah segar setiap pemanenan. Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit belum digunakan secara optimal hingga saat ini (Hambali, 2007).



Gambar 1. Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Sumber <http://Liputan6.com>)

2.2. Energi Terbarukan

Energi baru dan terbarukan merupakan energi yang dapat dijadikan baru, kembali melalui proses alam (terbarukan) dan prosesnya berkelanjutan. Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak mencemari lingkungan serta tidak menimbulkan polusi maupun gas efek rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global, terutama pada sumber energi yang sering kita gunakan. Banyak sekali jenis-jenis dari energi terbarukan seperti panas bumi (*geothermal*), air (*hydropower*), teknologi menggunakan angin (*wind power*), radiasi matahari, gelombang laut, serta bioenergi (berasal dari tanaman maupun kotoran hewan) (Mohtasham, 2015).

Bioenergi atau biomassa merupakan sumber energi terbarukan dengan jumlah yang tidak terbatas karena dalam prosesnya sumber dari energi terbarukan ini dapat ditumbuhkan kembali dalam waktu yang dekat, dan ketersediaan dari sumber energi ini sangat melimpah. Sumber energi terbarukan sangat berbeda dengan energi yang bersumber dari fosil, karena sumber energi fosil

membutuhkan berjuta-juta tahun untuk kembali menghasilkan sumber energi. Jumlah biomassa yang tidak terbatas, maka biomassa mempunyai potensi untuk dijadikan sumber energi guna memenuhi kebutuhan energi baik untuk saat ini maupun di masa yang akan datang.

Dharmawan et al., (2016) menyatakan bahwa biomassa dapat dihasilkan dari berbagai produk melimpah disekitar kita seperti produk dari limbah kelapa sawit, kehutanan, pertanian, dan perairan (*algae*). Bioenergi memiliki turunan bentuk energi yaitu *heat* atau panas, *biopower* atau listrik yang bersumber dari bahan baku biologis, dan *biofuel* yang dapat berbentuk padat (*solid fuel*), gas (*gas fuel*), dan cair (*liquid*).



Gambar 2. Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (<http://bisnis.com>)

Bioenergi berperan penting dalam upaya untuk mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan. Bioenergi ini tidak hanya diperlukan sebagai pengganti karena sudah mulai langkanya bahan bakar fosil, tetapi juga sebagai salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri terutama di pedesaan karena biasanya terletak jauh dari pusat perkotaan dan sulit mendapatkan akses listrik

(Hite et al., 2008). UU No. 30 tahun 2007 yang menginginkan tercapainya kedaulatan energi dalam negeri dan kegiatan tersebut merupakan kegiatan yang *sustainable*.

Penelitian Buchholz et al., (2009) yang berjudul “*sustainable crite for bioenergy systems: results from an expert survey*” menunjukkan bahwa tantangan dalam mengembangkan bioenergi adalah masalah sosial dan ekonomi. Masalah lingkungan merupakan hal utama yang mampu direduksi dengan pemanfaatan bioenergi, akan tetapi pada lingkungan sosial dan ekonomi dinilai sangat rendah, sebaiknya harus seimbang antara dampak lingkungan yang mampu direduksi dengan kondisi sosial ekonomi dan dengan adanya bioenergi atau energi alternatif ini dapat membantu mengatasi masalah sosial ekonomi.

2.3. Pelet TKKS

Pelet tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu bentuk dari energi biomassa, pertama kali biomassa pelet diproduksi di swedia sekitar tahun 1980an. Di Swedia pelet biomassa digunakan sebagai pemanas ruang. Pelet dibuat dari hasil samping terutama serbuk kayu. Sekarang ini bahan baku pembuatan pelet biomassa dapat menggunakan bahan yang lainnya. Di Swedia, pelet memiliki ukuran diameter 6-12 mm serta panjang 10-20 mm.



Gambar 3. Pelet TKKS (www.tobahijausinergi.id)

2.3.1. Pembuatan Pelet TKKS

a. Sortasi TKKS

Sortasi dilakukan untuk membersihkan suatu benda asing yang tercampur pada bahan pelet TKKS. Pada tahap ini dilakukan dengan cara manual dengan memilih bahan yang seragam supaya hasil yang dihasilkan beragam pula.

b. Pencacahan

Pencacahan ini dilakukan dengan menggunakan mesin *chaff cutter* dengan kapasitas 300 kg/jam basah. Mesin *chaff cutter* ini berfungsi untuk memotong TKKS agar memudahkan proses penggilingan, proses ini juga bertujuan untuk mempermudah proses pengeringan TKKS karena apabila bahan yang terpotong memudahkan mengurangi kadar air apabila bahan masih dalam kondisi basah.

c. Pengeringan dan Penimbangan

Tahap ini menggunakan alat pengering *batch dryer*. Bahan dikeringkan guna mendapatkan tingkat kekeringan yang seragam dari TKKS dengan kadar air maksimum yang mencapai 14% (berbasis basah) sehingga tekstur pelet yang dihasilkan kuat dan emisi pada pelet rendah

d. Pengecilan Ukuran (penggilingan)

Pada tahap ini menggunakan mesin *hammer mill* yang bertujuan memperkecilkan ukuran TKKS, supaya bahan mudah diaduk sehingga pelet lebih padat ketika dilakukan pengepresan menggunakan *pelletizer*. Hasil penggilingan TKKS kemudian dimasukkan ke dalam *cyclone* atau *dust collector* guna memisahkan debu dari TKKS.

e. Pengayakan dan *Mixing*

Pada tahap pengayakan atau *mixing* bertujuan menghomogenisasi bahan yang dikandung dalam pelet sehingga memiliki kandungan yang seragam pada saat dibakar (gasifikasi) untuk mempermudah pembentukan pembuatan pelet TKKS. *Mixing* ini dilakukan dengan cara mencampurkan TKKS dan minyak jelantah dan juga kemudian diaduk selama 10 menit.

f. *Pelletizing*

Pada tahap *peletizing* menggunakan mesin *pelletizer* bertujuan untuk membentuk bahan bakar padat pada TKKS dalam bentuk pelet dengan menggunakan ukuran (dimensi) panjang 3 - 4 cm dan diameter 6 mm - 8 mm.

g. Pendinginan dan Pengepakan

Pada tahap pendinginan bertujuan untuk menetralkan kandungan air yang ada dipermukaan pelet dari hasil pengepresan dengan *pelletizer*. Pengepakan bertujuan untuk mengemas pelet TKKS dalam plastik atau karung untuk mencegah peningkatan kadar air pada pelet (Alamsyah & Supriatna, 2018).

2.4. Torefaksi

Torefaksi merupakan suatu proses konversi (pengubahan) biomassa menjadi bahan bakar padat yang lebih bersih. Proses torefaksi biomassa secara perlahan diberi kalor atau dipanaskan pada temperatur 200-300⁰C dengan waktu tertentu (Basu, 2013). Produk torefaksi akan lebih mudah dikecilkan ukurannya sehingga konsumsi energi untuk mengecilkan ukuran semakin menurun (Chew & Doshi, 2011)(Gil et al., 2015). Penambahan produk biomassa melalui aplikasi torefaksi akan mempercepat proses pembakaran (Park et al., 2012). Proses torefaksi dapat dilakukan pada berbagai macam biomassa seperti jerami, kayu, bambu, limbah kelapa sawit dan biomassa jenis lainnya (Chen et al., 2015). Kualitas dari produk biomassa torefaksi sangat ditentukan oleh karakteristik biomassa, temperatur dan lama proses torefaksi. Lama proses torefaksi yang dilakukan dapat menyebabkan komponen-komponen energi hilang, sehingga kandungan energi akan menurun sebaiknya proses torefaksi tidak dilakukan dalam waktu yang lama (Irawan et al., 2015).

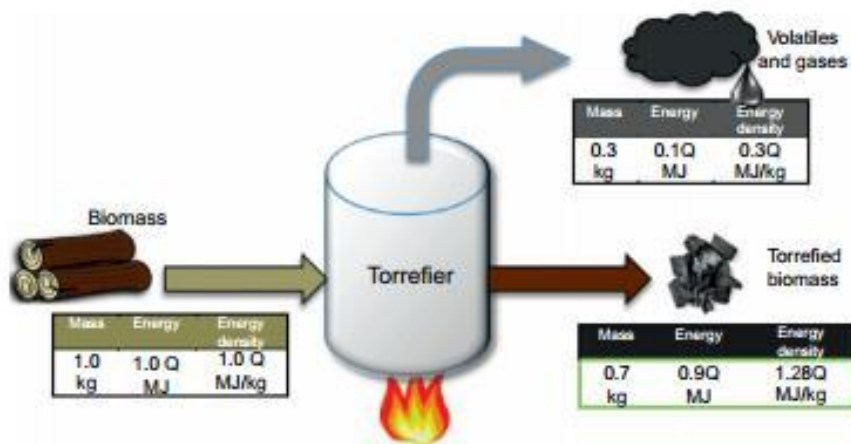
Torefaksi merupakan proses perlakuan panas pada temperatur sekitar 200-320 tekanan atmosfer tanpa kehadiran oksigen. Torefaksi pada biomassa berhasil memperbaiki karakteristik biomassa sebagai bahan bakar, yang ditandai dengan meningkatnya nilai kalor, densitas energi yang tinggi, kandungan air yang rendah, dan hidrofobia (Chen & Kuo, 2011).

Metode torefaksi pada biomassa mendapatkan keuntungan peningkatan energi. Kepadatan energi bahan bakar pelet yang dihasilkan dari torefaksi dapat mencapai 14 MJ/kg atau setara dengan batubara tingkat rendah (van der Stelt et al., 2011). Biomassa yang telah mengalami proses torefaksi terbukti memiliki sifat hidrofobik (tahan terhadap penyerapan air), tahan terhadap kelembaban dan dapat disimpan diluar ruangan (Acharjee et al., 2011).

Silaen et al., (2014) menyatakan uji kecepatan putaran optimal pada alat penyanggrai kopi tipe rotari terhadap kualitas hasil sanggrai. Hasil Kadar air tertinggi terdapat pada 55 rpm yaitu sebesar 4,26% dan kadar air terendah terdapat pada 15 rpm yaitu sebesar 3,73%. Penelitian ini menyatakan berbagai kecepatan putaran memberikan pengaruh nyata terhadap hasil penyanggraian, semakin cepat putaran yang dilakukan maka kadar air yang dihasilkan akan semakin rendah.

2.4.1. Proses Torefaksi

Pada proses torefaksi menggunakan tabung pemanas untuk proses pembakaran yang diposisikan ditengah atau dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme Torefaksi (Basu, 2013)

Pada Gambar 4 terlihat bahwa bagaimana proses terjadinya perubahan suatu biomasa dengan dihantarkannya energi panas ketabung dengan menggunakan pemanas api yang kemudian menjadi hasil torefaksi. Proses torefaksi biomassa akan mengalami pemanasan yang bertahap yang akan menghasilkan perubahan massa, suhu, dan konsumsi energi pada biomassa.

Pengertian lebih lanjut mengenai tahap pemanasan dapat dilihat sebagai berikut :

a. Tahap Pemanasan Awal (*Predrying*)

Tahap ini adalah langkah awal dari proses pemanasan dimana kondisi pemanas biomassa dari suhu kamar menuju suhu pengeringan dengan suhu (100°C) (Basu, 2013).

b. Tahap Pengeringan (*Drying*)

Pada tahapan ini yaitu dimana suhu 100°C akan ditingkatkan yang gunanya untuk menguapnya kandungan air biomassa menggunakan suhu yang stabil hingga kandungan air permukaan biomassa akan menghilang (Basu, 2010).

c. Tahap Pengeringan Lanjut (*Postdrying*)

Tahap ini akan melakukan tahap pemanasan yang lebih lanjut dan temperatur ditingkatkan menjadi 200°C , sebelum terjadinya proses torefaksi, di dalam tahap ini berlangsung biomassa akan kehilangan senyawa organik dan unsur terkait kelembaban (Bergman et al., 2005).

d. Tahap Torefaksi

Tahap torefaksi yaitu tahapan inti dari semua proses, ketika tahapan ini berlangsung maka biomassa akan mengalami proses depolimerisasi dan ketika

proses torefaksi akan terjadi sedikit reaksi eksotermis pada suhu 250-300°C, yang memerlukan jarak waktu supaya tahap ini sesuai dengan suhu yang diberikan (Prins et al., 2005).

e. Tahap Pendinginan

Pada tahap ini biomassa yang sudah keluar dari proses torefaksi dengan suhu tinggi, mengalami oksidasi ketika terkena udara, maka dari itu perlu penanganan lebih lanjut dengan melakukan proses pendinginan.

2.4.2. Parameter Torefaksi

Proses torefaksi terdapat beberapa parameter-parameter yang mempengaruhi selama proses torefaksi dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Temperatur

Pada saat proses torefaksi sangat perlu untuk memperhatikan temperaturnya karena degradasi termal pada biomassa tergantung pada suhu yang diterapkan. Pada proses torefaksi jika temperatur yang diberikan lebih tinggi maka mempengaruhi massa produk yang dihasilkan. Meningkatnya suhu yang diberikan dapat mengurangi jumlah massa padatan dan memberikan nilai bahan bakar padat lebih tinggi. Berkurangnya hidrogen dan oksigen dan meningkatnya nilai karbon pada biomassa (Bridgeman et al., 2008).

b. Waktu Tinggal

Pada saat proses torefaksi memperhatikan lama waktu tinggal yang mempengaruhi biomassa terhadap degradasi termalnya. Meningkatkan pemanasan membedakan antara pirolisis dengan torefaksi dilakukan dengan cepat.

Massa produk padatan menurun dan memiliki energi padatan yang tinggi jika proses waktu tinggal lebih lama, efek dari waktu tinggal untuk menurunkan massanya yang berkurang dengan waktu sekitar 1 jam (Van der stelt et al., 2011).

c. Jenis Biomassa

Jenis biomassa mempengaruhi produk hasil dari proses torefaksi. Pada saat reaksi proses torefaksi kandungan hemiselulosa yang banyak mengalami reaksi, karena jika kandungan hemiselulosa meningkat pada suatu biomassa dapat mengalami kerugian.

d. Ukuran Partikel

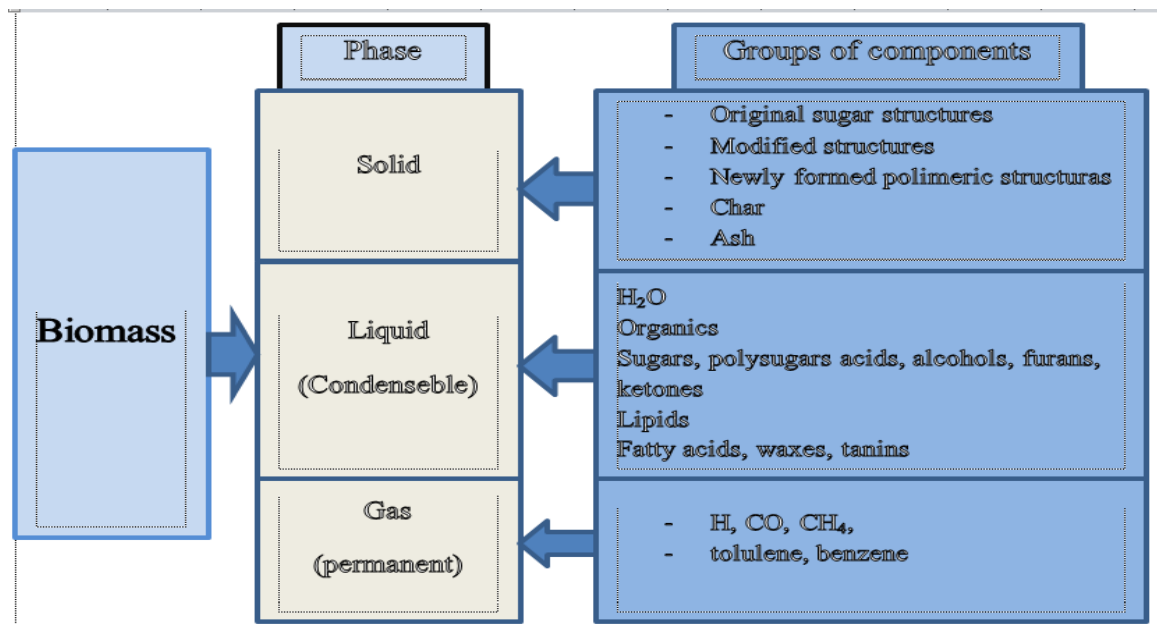
Ukuran partikel proses torefaksi memiliki efek, adanya perbedaan ukuran yang tidak terlalu menonjol pada ukurannya yang normal hal itu terjadi karena adanya perpindahan panas dari suatu reaktor menuju biomassa. Hasil biomassa akan mengalami peningkatan diameter volume karena ukuran partikel sangat mempengaruhi hasil torefaksi (Basu, 2013).

2.4.3. Produk Torefaksi

Produk torefaksi banyak dihasilkan dalam proses torefaksi karena adanya reaksi material torefaksi dan energi panas yang diberikan. Produk torefaksi menghasilkan berbagai macam karakteristik yang diubahkan oleh temperatur dan waktu tinggal (Pach et al., 2002).

Produk dari proses torefaksi terdiri dari padatan, cairan, dan sedikit gas, dalam pengaplikasian penggunaan dari proses torefaksi, produk yang diharapkan adalah bahan bakar padat. Perolehan massa dan energi padatan menjadi parameter

penting dari produk torefaksi (Bergman et al., 2005). Mengetahui produk dari torefaksi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Produk Torefaksi (Bergman et al., 2005)

Pada gambar 5 terlihat bahwa produk torefaksi dibedakan dari jenis temperatur yang akan menghasilkan padat, cair, dan gas.

2.5 Analisis Mutu

Kadar air biomasa adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam biomasa dengan berat kering biomasa setelah diovenkan. Kadar air pelet sangat mempengaruhi nilai kalor atau nilai panas yang dihasilkan. Kadar air sangat mempengaruhi kualitas biomasa pelet bahwa semakin tingginya kadar air akan menyebabkan penurunan nilai kalor. Kandungan abu merupakan ukuran kandungan material dan berbagai material anorganik di dalam benda uji. Metode pengujian ini meliputi penetapan abu yang dinyatakan dengan persentase sisa

hasil oksidasi keringbenda uji pada suhu $\pm 580-600^{\circ}\text{C}$, setelah dilakukan pengujian kadar air. Abu adalah bahan yang tersisa apabila biomassa padat dipanaskan hingga berat konstan.

Kadar abu ini sebanding dengan kandungan bahan anorganik di dalam biomassa. Salah satu unsur utama yang terkandung dalam abu adalah silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Abu terdiri dari bahan mineral seperti lempung, silika, kalsium,serta magnesium oksida dan lain-lain. Semua briket mempunyai kandungan zat anorganik yang dapat ditentukan jumlahnya sebagai berat yang tinggal apabila briket dibakar secara sempurna. Zat yang tinggal ini disebut abu. Abu briket berasal dari *clay*, pasir dan bermacam-macam zat mineral lainnya. Briket dengan kandungan abu yang tinggi sangat tidak menguntungkan karena membentuk kerak.

Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh suatu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 gr air dari $3,5^{\circ}\text{C}-4,5^{\circ}\text{C}$, dengan satuan kalori. Kata lain nilai kalor adalah besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran suatu jumlah tertentu bahan bakar.

Kandungan zat terbang (*Volatile matter*) mengandung suatu hydrogen (H), karbon monoksida (CO), dan metan (CH_4) yang mudah terbakar dan gas-gas yang tidak terbakar seperti CO_2 dan H_2O kadar *volatile matter* $\pm 40\%$. Proses pembakaran memiliki nyala yang panjang dan meningkatnya asap ketika menggunakan kadar *volatile matter* rendah sebesar 15-25% akan menghasilkan asap yang rendah dan tingginya suhu mengakibatkan rendahnya zat terbang.

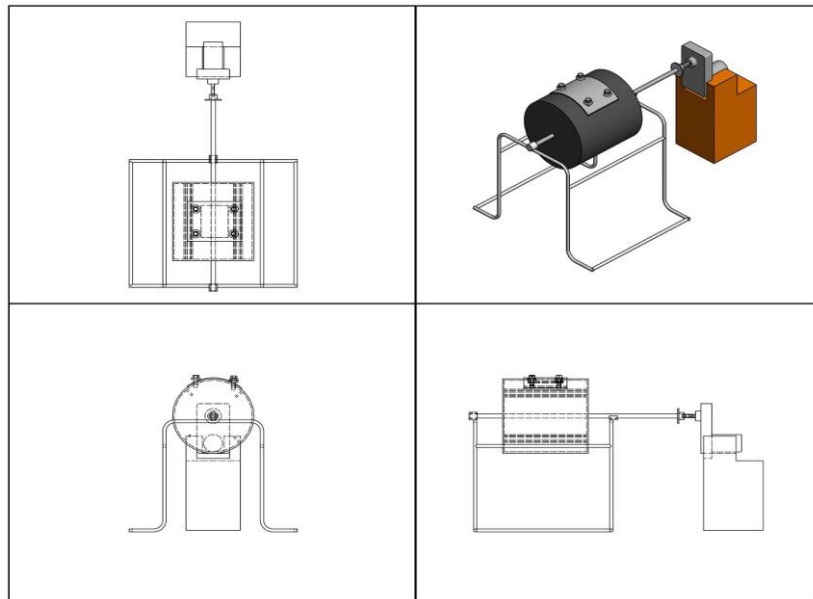
III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

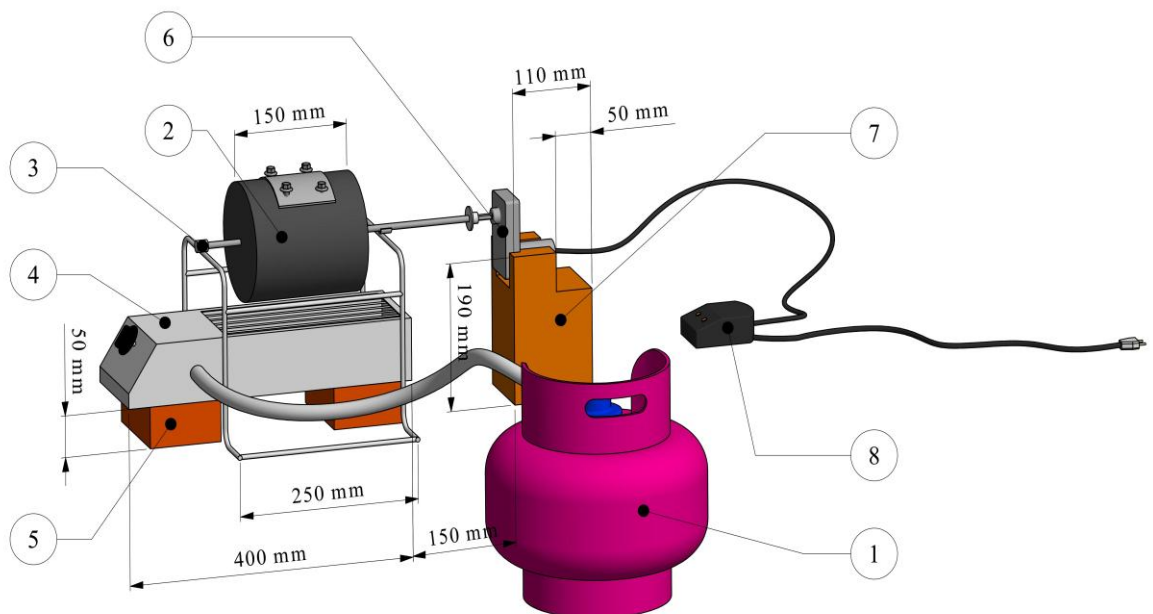
Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Juni 2019 sampai dengan Agustus 2019 di Laboratorium Daya Alat dan Mesin Pertanian jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Laboratorium Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Lampung

3.2 Alat Dan Bahan

Alat torefaksi yang digunakan pada penelitian ini memodifikasi alat penyangrai kopi mini yang dapat dilihat pada gambar 6 dan pada gambar 7, kompor gas, cawan, timbangan, oven, gelas ukur, tanur, desikator, bomb kalori meter, dan stopwatch. Bahan yang akan digunakan dalam penelitian pengaruh suhu dan lama waktu torefaksi terhadap kualitas pelet tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bahan bakar terbarukan dengan aplikasi torefaksi ini adalah pelet yang terbuat dari tandan kosong kelapa sawit, dan pasir.



Gambar 6. Tampak alat torefaksi



Gambar 7. Alat torefaksi mini

Keterangan :

- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| 1. Tabung gas | 5. Balok |
| 2. Tabung torefaksi | 6. Dinamo |
| 3. Penyangga tabung torefaksi | 7. Penyangga dinamo |
| 4. Kompor gas | 8, Pengatur putaran |

3.3. Rancangan Percobaan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial, Percobaan menggunakan dua faktor. Faktor pertama (W) adalah putaran (rpm) pembakaran pelet TKSS yang terdiri dari 3 taraf yaitu :

1. 16 rpm (W1)
2. 31 rpm (W2)
3. 37 rpm (W3)

Faktor Kedua (T) adalah lama waktu proses torefaksi pelet TKKS yang terdiri dari 3 taraf, yaitu :

1. 20 Menit (T1)
2. 30 Menit (T2)
3. 45 Menit (T3)

Masing masing faktor dan perlakuan mengalami pengulangan (U) sebanyak 3 kali sehingga di dapat 27 sampel. Data yang diperoleh telah ditampilkan dalam bentuk aplikasi sas, grafik, dan tabel menggunakan Microsoft Excel.

3.4. Analisis Anova

Analisis anova adalah sebuah analisis statistik yang menguji perbedaan rerata antar setiap perlakuan yang menggunakan aplikasi sas. Uji anova untuk melihat adanya perbandingan nilai pada setiap perlakuan menggunakan hipotesis :

H_0 = Tidak terdapat perbedaan nyata pada perlakuan

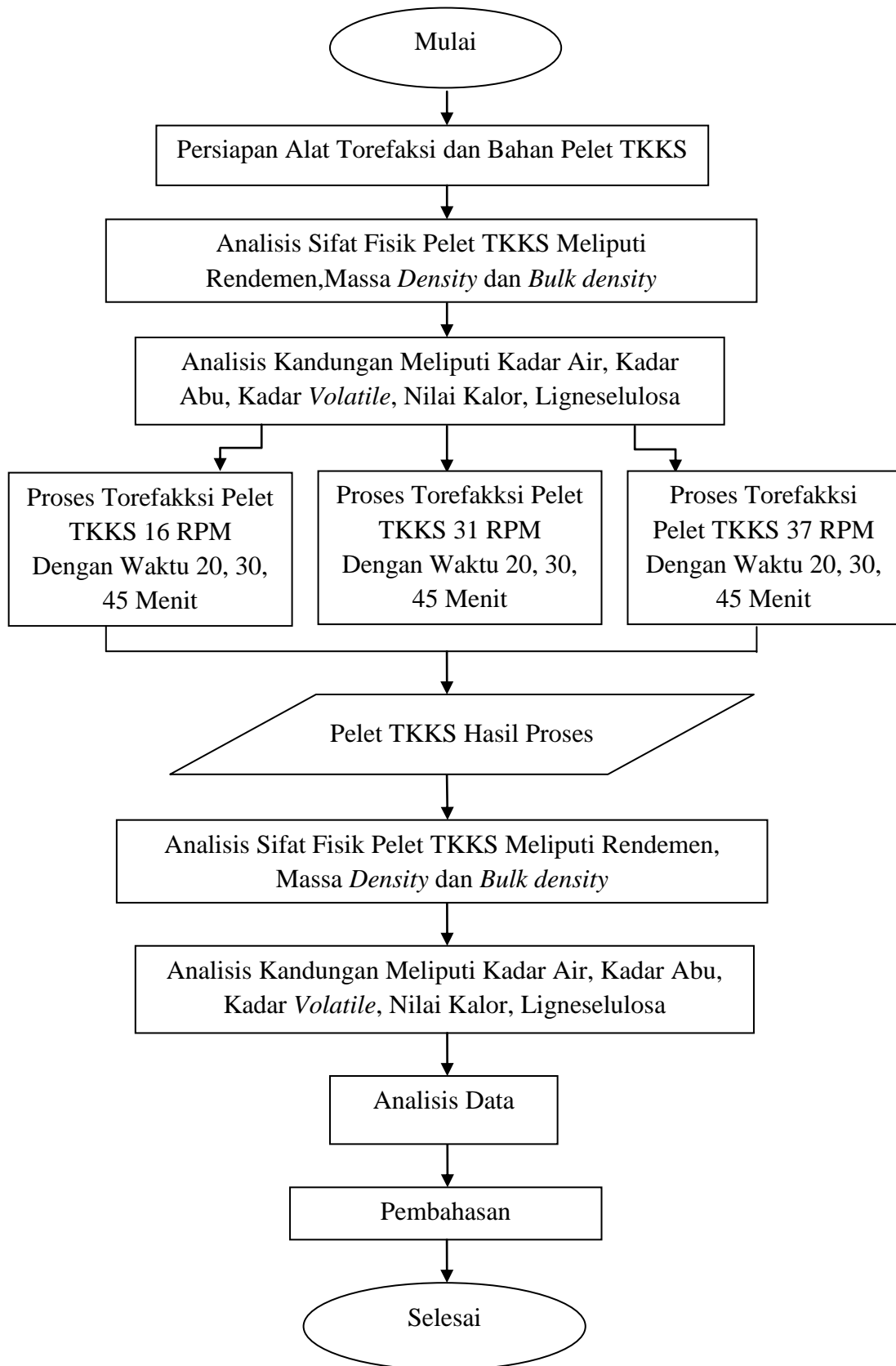
H_1 = Terdapat minimal satu perlakuan yang berbeda nyata

Tabel 1. Kombinasi Perlakuan Percobaan

NO	Sampel RAL
1	W1T1U1
2	W1T1U2
3	W1T1U3
4	W1T2U1
5	W1T2U2
6	W1T2U3
7	W1T3U1
8	W1T3U2
9	W1T3U3
10	W2T1U1
11	W2T1U2
12	W2T1U3
13	W2T2U1
14	W2T2U2
15	W2T2U3
16	W2T3U1
17	W2T3U2
18	W2T3U3
19	W3T1U1
20	W3T1U2
21	W3T1U3
22	W3T2U1
23	W3T2U2
24	W3T2U3
25	W3T3U1
26	W3T3U2
27	W3T3U3

3.5. Prosedur Penelitian

Pelaksanaan penelitian pengaruh putaran dan lama waktu torefaksi terhadap kualitas pelet TKKS ini dapat dilihat pada gambar 8 yang menunjukkan langkah-langkah prosedur penelitian sebagai berikut :



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1. Persiapan Alat dan Bahan

Alat torefaksi yang digunakan pada penelitian ini untuk memodifikasi alat penyangrai kopi mini yaitu kompor gas, tabung gas, tabung torefaksi, penyangga tabung torefaksi, balok, dinamo, penyangga dinamo, dan pengatur putaran.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa pelet TKKS yang sudah jadi sebanyak 300 gram untuk satu perlakuan yang digunakan untuk pengujian proses torefaksi. Pasir digunakan sebagai media penghantar panas agar mendapatkan panas yang merata, dan sebagai media supaya pelet tidak hancur selama proses torefaksi di dalam tabung torefaksi.

3.6.2. Proses Pelaksanaan Torefaksi Pelet TKKS

Disiapkan alat dan bahan penelitian dimasukan pelet TKKS ke dalam tabung torefaksi lalu diletakkan pada penyangga tabung dan dihubungkan pada dinamo lalu dihidupkan kompor gas. Suhu di kontrol dengan menggunakan termometer infrared ketika suhu sudah mencapai 200°C maka proses torefaksi pelet TKKS mulai diamati sesuai dengan perlakuan.



Gambar 9. Proses Torefaksi

3.7. Analisis Lab Yang Diamati

3.7.1. Nilai Kalor

Disiapkan sampel 1 gram kemudian di letakan ke dalam cawan silica dan diikat dengan kawat nikel, dan dimasukan ke dalam tabung dan ditutup rapat. Lalu tabung tersebut dialiri oksigen selama 30 detik. Tabung dimasukan dalam *oxygen bomb calorimeter*. Pembakaran dimulai saat suhu air tetap dengan pengukuran suhu optimum. Besarnya nilai kalor sesuai dengan persamaan berikut :

$$NK = \frac{\Delta t \times W}{Mbb} - B \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- NK = Nilai kalor (Kal/gr)
- Δt = Perbedaan suhu rata-rata (°C)
- Mbb = Massa bahan bakar
- W = Energi ekuivalen dari kalorimeter
- B = Koreksi panas kawat besi (kal g - 1)

3.7.2. Kadar Air

Kadar air sangat berperan penting dalam dalam mempengaruhi produksi gas sintesis pada saat proses pembakaran. Analisis kadar air dilakukan dengan mengambil 1 bahan sampel tanpa cawan dan diletakkan dalam cawan porselen dengan bobot yang sudah diketahui. Dikeringkan dalam oven dengan suhu 105⁰C selama 24 jam sampai kadar air konstan. Tahap terakhir didinginkan ke dalam desikator sampai suhu stabil dan timbang, kadar air dihitung:

$$\text{Kadar Air} = \frac{B_a - B_f}{B_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

B_a = Berat bahan tanpa cawan sebelum dioven

B_f = Berat bahan tanpa cawan setelah dioven

3.7.3. Kadar Abu

Penetapan kadar abu dilakukan dengan 1 gram sampel yang diletakkan pada cawan porselin yang bobotnya sudah diketahui, dimasukkan ke dalam tanur dengan suhu maksimal 550°C selama 2 jam, kemudian didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan ditimbang kadar abu dihitung :

$$\text{Kadar Abu} = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat sampel}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

3.7.4. Hidropobicity

Hidropobicity pada produk pelet tandan kosong kelapa sawit akan diukur dengan merendam produk ke dalam air dan kemudian diamati menggunakan lama waktu yang diperlukan, sehingga pelet tandan kosong kelapa sawit dapat menyerap air dengan sempurna dengan memperhatikan perubahan warna air dan perubahan bentuk pelet TKKS yang berada pada kondisi ekstrem (di dalam air).

3.7.5. Kadar *Volatile*

Kadar *volatile* merupakan ukuran kemampuan bahan bakar padat dapat terbakar secara cepat atau lambat. Semakin tinggi kadar *volatile* pada biomassa, maka biomassa tersebut akan semakin cepat terbakar.

$$\text{Kadar Volatile \%} = \frac{(b-c)}{(b-a)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

a = Berat botol timbang + tutup (gr)

b = Berat botol timbang + tutup + sampel (gr) sebelum pembakaran

c = Berat botol timbang + tutup + sampel (gr) setelah pembakaran

3.7.6. Kandungan Lignin, Selulosa, dan Hemiselulosa

Pengamatan analisis karakteristik pelet biomasa meliputi lignin, selulosa, dan Hemiselulosa dilakukan dengan metode Chesson (Datta,1981).

1. Sampel dikeringkan pada suhu 105°C sampai bobot konstan. Diambil Satu gram sampel kering ditambahkan 150 ml aquades, dididihkan selama 1 jam disertai dengan pendingin balik, disaring, dan dioven pada suhu 105°C. lalu residu ditimbang sehingga didapatkan residu pertama.
2. Residu pertama didihkan kembali menggunakan 150 ml H₂SO₄1N selama 1 jam disertai dengan pendingin balik, disaring, residu dicuci dengan 300 ml aquades dan di oven pada suhu 105°C, lalu residu di timbang sehingga didapatkan residu kedua.

3. Residu kedua ditambahkan dengan 10 ml H₂SO₄ 72% dan didiamkan selama 4 jam pada suhu kamar. Setelah itu, residu ditambahkan dengan H₂SO₄ 1 N sebanyak 150 ml dan dididihkan selama 2 jam disertai dengan pendingin balik. Kemudian residu disaring lalu dicuci dengan 300 ml aquades dan di oven pada suhu 105°C sehingga didapatkan residu ketiga.
4. Residu ke-empat, residu diabukan pada suhu 550°C selama 2 jam. Di timbang sehingga didapatkan residu ke-empat.

Hemiselulosa, Selulosa dan, Lignin dihitung menggunakan persamaan 4,5 dan, 6

$$\text{a. Hemiselulosa} = \frac{\text{Residu pertama} - \text{Residu kedua}}{\text{Sampel}} \times 100\% \quad \text{..... (5)}$$

$$\text{b. Selulosa} = \frac{\text{Residu kedua} - \text{Residu ketiga}}{\text{Sampel}} \times 100\% \quad \text{..... (6)}$$

$$\text{c. Lignin} = \frac{\text{Residu ketiga} - \text{Residu keempat}}{\text{sampel}} \times 100\% \quad \text{..... (7)}$$

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh proses torefaksi terhadap sifat fisik pelet TKKS adalah sebagai berikut :
 - a. Proses torefaksi menghasilkan rata-rata rendemen sebesar 77,56% - 87,11% yang di dapat dari semua perlakuan disebabkan oleh hilangnya kandungan kadar air dan *volatile* serta serpihan pelet TKKS pada saat proses torefaksi. Perlakuan putaran dan lama waktu berpengaruh pada parameter rendemen.
 - b. Nilai rata-rata *bulk density* yang didapat pada pelet TKKS setelah proses torefaksi sebesar 0,35 g/ml dari semua perlakuan sedangkan nilai *bulk density* sebelum torefaksi sebesar 0,43 g/ml. Setelah proses torefaksi pelet mengalami penurunan *bulk density* sebesar 18,6%. Perlakuan putaran dan lama waktu berpengaruh pada parameter *bulk density*.
 - c. Nilai massa *density* pada pelet TKKS sebelum torefaksi sebesar 1,49 g/cm³, setelah pelet ditorefaksi rata-rata massa *density* dari semua perlakuan menurun menjadi 1,25 g/cm³. Perlakuan putaran dan lama waktu berpengaruh pada parameter massa *density*.

- d. Nilai kalor pelet TKKS sebelum torefaksi sebesar 15,82 MJ/g dan mengalami peningkatan setelah pelet TKKS ditorefaksi sebesar 17,07 MJ/g.
2. Pengaruh putaran dan lama waktu proses torefaksi pelet TKKS terhadap kandungan pelet TKKS sebagai berikut :
 - a. Nilai kadar air dari semua perlakuan memiliki nilai rata-rata sebesar 0,40%, sedangkan nilai kadar air pelet TKKS sebelum torefaksi sebesar 6,86% yang menunjukkan terjadinya penurunan kadar air sebesar 93% pada pelet TKKS setelah proses torefaksi. Perlakuan putaran dan lama waktu tidak berpengaruh pada parameter kadar air.
 - b. Nilai kadar abu pelet TKKS sebelum ditorefaksi sebesar 18,03% dan kandungan *volatile* sebesar 87,25% setelah proses torefaksi nilai rata-rata kandungan kadar abu mencapai 16,36% dan kandungan *volatile* sebesar 83,63%. Perlakuan putaran dan lama waktu tidak berpengaruh pada parameter kadar abu dan kadar *volatile*.
 - c. Kandungan hemiselulosa pada pelet TKKS sebelum torefaksi sebesar 26%, setelah proses torefaksi dengan waktu 20 dan 30 menit kandungan hemiselulosa sebesar 25%, pada perlakuan 45 menit kandungan hemiselulosa pelet TKKS sebesar 17%. Lama waktu proses torefaksi mempengaruhi penurunan kandungan hemiselulosa pada pelet TKKS.
 3. Hasil pengujian proses torefaksi selama 30 menit menggunakan 16 rpm menunjukkan bahwa pelet TKKS tidak hancur dalam waktu 24 jam pada

kondisi ekstrem (di dalam air) yang berguna untuk penyimpanan pelet TKKS dalam waktu jangka panjang.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan selanjutnya penelitian disarankan untuk mendesain tabung dengan baik dan menyesuaikan tabung kepada kompor supaya berputar dengan baik dan melakukan penelitian dengan menambah sampel pelet dengan berbagai varian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K. 2016. Pengaruh Penambahan Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Briket Berbahan Utama Limbah Kulit Singkong. *Reaktor*, 27(10): 5-10.
- Acharjee, T.C., Coronella, C.J. & Vasquez, V.R. 2011. Effect of thermal pretreatment on equilibrium moisture content of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 102(7): 4849–4854.
- Alamsyah, R. & Supriatna, D. 2018. Analisis Teknik dan Tekno Ekonomi Pengolahan Biomassa Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menjadi Pelet sebagai Bahan Bakar Terbarukan Skala Produksi. *Warta Industri Hasil Pertanian*, 35(1): 1–11.
- Basu, P. 2010. *Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory*. Burlington, MA: Academic Press.
- Basu, P. 2013. *Biomass Gasification: Practical Design and Theory*. Academic Press. <http://www.mylibrary.com?id=505599> 4 September 2019.
- Baud, I.S.A., Post, J. & Furedy, C. 2006. *Solid waste management and recycling actors, partnerships and policies in Hyderabad, India and Nairobi, Kenya*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. <http://accesbib.uqam.ca/cgi-bin/bduqam/transit.pl?&noMan=25127731> 4 September 2019.
- Bergman, P.C.A., Boersma, A.R., Zwart, R.W.R. & Kiel, J.H.A. 2005. Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired. power stations. 013(05): 33-51.
- Bridgeman, T.G., Jones, J.M., Shield, I. & Williams, P.T. 2008. Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties. *Fuel*, 87(6): 844–856.
- Buchholz, T., Luzadis, V.A. & Volk, T.A. 2009. Sustainability criteria for bioenergy systems: results from an expert survey. *Journal of Cleaner Production*, 17: S86–S98.
- Chen, W.-H. & Kuo, P.-C. 2011. Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass. *Energy*, 36(2): 803–811.

- Chen, W.-H., Liu, S.-H., Juang, T.-T., Tsai, C.-M. & Zhuang, Y.-Q. 2015. Characterization of solid and liquid products from bamboo torrefaction. *Applied Energy*, 160: 829–835.
- Chew, J.J. & Doshi, V. 2011. Recent advances in biomass pretreatment – Torrefaction fundamentals and technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8): 4212–4222.
- De Datta, S.K. 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. A Wiley-Interscience Publication. New York: John Wiley & Sons.
- Dharmawan A.H, Nuva, Amalia, R., Sudaryanti, D. 2016. *Isu relevan kebijakan bioenergi dalam mendukung ketahanan dan kemandirian energi di Indonesia: state of the art*. Working Paper No. 4. Pusat Studi Pembangunan Pertanian dan Pedesaan: Institut Pertanian Bogor
- Demirbaş, A. 1999. Properties of charcoal derived from hazelnut shell and the production of briquettes using pyrolytic oil. *Energy*, 24(2): 141–150.
- Gil, M.V., García, R., Pevida, C. & Rubiera, F. 2015. Grindability and combustion behavior of coal and torrefied biomass blends. *Bioresource Technology*, 191: 205–212.
- Hambali, E. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Harun, N. H. H. M., Wahid, F. R. A. A., Saleh, S., and Samad, N. A. F. A. 2017. Effect of Torrefaction on Palm Oil Waste Chemical Properties and Kinetic Parameter Estimation. *Chemical Engineering Transactions* 56: 1195–1200.
- Hite, D., Duffy, P., Bransby, D. & Slaton, C. 2008. Consumer willingness-to-pay for biopower: Results from focus groups. *Biomass and Bioenergy*, 32(1): 11–17.
- Irawan, A., Riadz, T. & Nurmalisa, N. 2015. Proses Torefaksi Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Kandungan Hemiselulosa Dan Uji Kemampuan Penyerapan Air. *Reaktor*, 15(3): 190-194.
- Li, B. & Sun, D.-W. 2002. Effect of power ultrasound on freezing rate during immersion freezing of potatoes. *Journal of Food Engineering*, 55(3): 277–282.
- Liu, Z., Fei, B., Jiang, Z., Cai, Z., & Liu, X. 2014. Important Properties of Bamboo Pellets to Be Used as Commercial Solid Fuel in China. *Wood Science and Technology*, 48(5); 903–917.
- Lu, K.-M., Lee, W.-J., Chen, W.-H., Liu, S.-H. & Lin, T.-C. 2012. Torrefaction and low temperature carbonization of oil palm fiber and eucalyptus in nitrogen and air atmospheres. *Bioresource Technology*, 123: 98–105.

- Lukmandaru, G., Susanti, D., and Widyorini, R. 2018. Sifat Kimia Kayu Mahoni yang Dimodifikasi dengan Perlakuan Panas. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* 7(1): 37–46.
- Maamri, S. & Amrani, M. 2014. Biogas Production from Waste Activated Sludge Using Cattle Dung Inoculums: Effect of Total Solid Contents and Kinetics Study. *Energy Procedia*, 50: 352–359.
- Mohtasham, J. 2015. Review Article-Renewable Energies. *Energy Procedia*, 74: 1289–1297.
- Nasrin, A. B., Choo, Y. M., Lim, W. S., Joseph, L., Michael, S., Rohaya, M. H., Astimar, A. A., and Loh, S. K. 2011. Briquetting of Empty Fruit Bunch Fibre and Palm Shell as a Renewable Energy Fuel. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 6(6): 446–451.
- Pach M., Zanz, R. & Björnbom, R. 2002. *Torrefied Biomass a Substitute for Wood and Charcoal*. Kuala Lumpur: 6th Asia-Pasific International Symposium on Combustion and Energy Utilization.
- Pahan, I. 2008. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Park, S.-W., Jang, C.-H., Baek, K.-R. & Yang, J.-K. 2012. Torrefaction and low-temperature carbonization of woody biomass: Evaluation of fuel characteristics of the products. *Energy*, 45(1): 676–685.
- Prins, & MJ, Mark. 2005. Thermodynamic analysis of biomass gasification and torrefaction. <http://repository.tue.nl/583729> 19 August 2019.
- Rahman. 2011. Uji Keragaan Biopellet dari Biomassa Limbah Sekam Padi (*Oryza sativa* sp.) sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan. *Institut Pertanian Bogor*, skripsi: 67.
- Silaen, J.D., Munir, P. A. & Rohanah, A. 2014. Uji Kecepatan Putaran Optimal Pada Alat Penyanggrai Kopi Tipe Rotari Terhadap Kualitas Hasil Sangrai. *Reaktor*, 2(1): 158-163.
- van der Stelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A. & Ptasinski, K.J. 2011. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. *Biomass and Bioenergy*. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953411003473> 19 August 2019.