

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL DAN TEKANAN TERHADAP
KUALITAS *PELLET* DARI LIMBAH KULIT KOPI**

(Skripsi)

Oleh

AGUSTIN PRATAMA MAHARDIKA



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENGARUH UKURAN PARTIKEL DAN TEKANAN TERHADAP KUALITAS *PELLET* DAI LIMBAH KULIT KOPI

OLEH

AGUSTIN PRATAMA MAHARDIKA

Pellet biomassa merupakan bahan bakar alternatif yang dapat dibuat dari limbah kayu dan limbah pertanian. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel dan variasi tekanan terhadap karakteristik *pellet* limbah kulit kopi. Penelitian menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap dengan dua faktor yaitu faktor ukuran partikel (P = halus, sedang, kasar, dan campuran) dan faktor tekanan (T: 131 MPa, 173 MPa, 217 MPa, dan 260 MPa). Parameter yang diamati meliputi kadar air, kadar abu, massa jenis, kekuatan, daya serap air, nilai kalor dan warna pelet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas *pellet* tertinggi terdapat pada ukuran partikel halus (P1) dengan tekanan 2 ton 217 MPa (T3) dan 3 ton 260 MPa (T4) sebesar 1,03 g/cm³, densitas pelet terendah pada kasar partikel. (P3) dengan tekanan 1,5 ton 131 MPa (T1) sebesar 0,81 g/cm³, dapat disimpulkan bahwa semakin halus ukuran partikel dan semakin tinggi tekanan yang diberikan maka semakin berat densitas yang dihasilkan.

Nilai kadar air pelet terendah diperoleh pada ukuran partikel halus (P1) dengan tekanan 131 Mpa, 2,5 ton (T3) dengan nilai 12,91%, kadar air tertinggi pada partikel campuran (P4) dengan tekanan 217 Mpa 2,5 ton (T3) dengan nilai 15,20%, dapat disimpulkan bahwa semakin halus ukuran partikel dengan penerapan tekanan maksimum maka kadar air yang dihasilkan semakin sedikit,

perbedaan ukuran partikel kasar dan campuran semakin banyak kadar airnya. diproduksi. *Bulk density* pelet pada ukuran partikel halus pada semua tekanan mendominasi karena semakin halus ukuran partikel dengan tekanan maksimum yang diberikan maka semakin baik densitas yang dihasilkan. Uji kekuatan pelet didapatkan susut bobot tertinggi pada ukuran partikel kasar (P3) dengan tekanan 1,5 ton 131 MPa (T1) sebesar 10%, kehilangan berat terendah diperoleh pada ukuran partikel halus (P1) dengan tekanan 2 ton 173 MPa (T2) sebesar 0,02%. Dapat disimpulkan bahwa ukuran partikel dan tekanan sangat mempengaruhi kekuatan pellet, semakin halus ukuran partikel dengan tekanan yang diberikan maka semakin kuat pellet dengan densitas yang baik. Kadar abu pelet terendah diperoleh pada ukuran partikel halus (P1) dengan tekanan 2,5 ton 173 MPa (T3) 10,11%, kadar abu pelet tertinggi diperoleh pada ukuran partikel campuran (P4) dengan tekanan 1,5 ton 131 Mpa (T1) sebesar 16,46%. . Dapat disimpulkan bahwa P3T1 memiliki kandungan silika yang sangat tinggi dan P1T4 memiliki kandungan silika yang sangat sedikit. Analisis warna pelet diperoleh nilai kecerahan pada ukuran partikel campuran (P4) dengan tekanan 1,5 ton 131 MPa (T1) dengan nilai 11,84 dan nilai kecerahan pelet terendah diperoleh pada ukuran partikel halus (P1) . dengan tekanan 2,5 ton 217 MPa (T3). dengan nilai 5,79. Hal ini menyebabkan P4T1 dan P1T3 mengalami perubahan warna yang sangat besar karena nilai yang dihasilkan adalah $6 < E^* = 12$. Penyerapan air yang dilakukan pada pellet limbah kulit kopi didapatkan pada ukuran partikel halus pada semua tekanan sehingga daya serap airnya adalah lebih kecil dari ukuran partikel sedang. , kasar dan campuran, karena ukuran partikel halus memiliki kerapatan yang baik dan mengikat satu sama lain dengan erat.

Kata kunci: *pellet*, perlakuan, nilai, ukuran partikel, terendah, tertinggi

ABSTRACT

THE EFFECT OF PARTICLE SIZE AND PRESSURE ON *PELLET* QUALITY OF COFFEE LEATHER WASTE

BY

AGUSTIN PRATAMA MAHARDIKA

Biomass pellets are an alternative fuel that can be made from wood waste and agricultural waste. This research was conducted to determine the effect of particle size and pressure variations on the characteristics of coffee husk waste pellets. The study used a completely randomized design method with two factors, namely the particle size factor (P = fine, medium, coarse, and mixed) and the pressure factor (T: 131 MPa, 173 MPa, 217 MPa, and 260 MPa). Parameters observed included water content, ash content, specific gravity, specific gravity, strength, water absorption, calorific value and pellet color. The results showed that the highest pellet density was found in fine particle size (P1) with a pressure of 2 tons 217 MPa (T3) and 3 tons 260 MPa (T4) of 1.03 g/cm³, the lowest pellet density was on coarse particles. (P3) with a pressure of 1.5 tons 131 MPa (T1) of 0.81 g/cm³, it can be concluded that the finer the particle size and the higher the pressure applied, the heavier the density produced.

The lowest pellet moisture content value was obtained at fine particle size (P1) with a pressure of 131 Mpa, 2.5 tons (T3) with a value of 12.91%, the highest moisture content in mixed particles (P4) with a pressure of 217 Mpa 2.5 tons (T3) with a value of 15.20%, it can be concluded that the finer the particle size with the

application of maximum pressure, the less water content is produced, the difference in coarse particle size and the mixture is the more water content produced. Bulk density of pellets at fine particle size at all pressures dominates because the finer the particle size with the maximum pressure given, the better the resulting density. Pellet strength test obtained the highest weight loss at coarse particle size (P3) with a pressure of 1.5 tons 131 MPa (T1) by 10%, the lowest weight loss was obtained at fine particle size (P1) with a pressure of 2 tons 173 MPa (T2) of 0.02%. It can be concluded that particle size and pressure greatly affect the strength of the pellet, the finer the particle size with the given pressure, the stronger the pellet with a good density. The lowest pellet ash content was obtained at fine particle size (P1) with a pressure of 2.5 tons 173 MPa (T3) 10.11%, the highest pellet ash content was obtained at mixed particle size (P4) with a pressure of 1.5 tons 131 Mpa (T1) of 16.46%. . It can be concluded that P3T1 has a very high silica content and P1T4 has a very low silica content. The color analysis of the pellets obtained the brightness value at the mixed particle size (P4) with a pressure of 1.5 tons 131 MPa (T1) with a value of 11.84 and the lowest pellet brightness value was obtained at the fine particle size (P1). with a pressure of 2.5 tons 217 MPa (T3). with a value of 5.79. This causes P4T1 and P1T3 to experience a very large color change because the resulting value is $6 < E^* = 12$. The water absorption carried out on the coffee skin waste pellet is obtained at fine particle size at all pressures so that the water absorption capacity is smaller than the size medium particles. , coarse and mixed, because the fine particle size has good density and binds to each other tightly.

Key words : pellet, treatment, value, particle size, lowest, highest

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL DAN TEKANAN TERHADAP
KUALITAS *PELLET* DARI LIMBAH KULIT KOPI**

**Oleh
Agustin Pratama Mahardika**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **PENGARUH UKURAN PARTIKEL DAN
TEKANAN TERHADAP KUALITAS *PELLET*
DARI LIMBAH KULIT KOPI**

Nama Mahasiswa : **Agustin Pratama Mahardika**

No. Pokok Mahasiswa : **1754071001**

Jurusan : **Teknik Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP. 199002262019031012

Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.
NIP. 196505271993031002

MENGETAHUI,

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

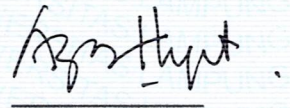
A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Sandi Asmara', written over a faint circular stamp.

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 19621010 198902 1 002

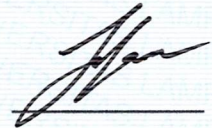
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

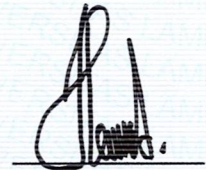
Ketua : **Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



Sekretaris : **Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



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

96/1020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **29 Oktober 2021**

PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya adalah **Agustin Pratama Mahardika** NPM **1754071001**

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.** dan 2) **Febryan Kusuma Wisnu S.T.P., M.Sc.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari 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, 29 Oktober 2021
Yang membuat pernyataan



Agustin Pratama Mahardika
NPM. 1754071001

RIYAWAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bumi Agung, pada hari Senin, 23 Agustus 1999, sebagai anak pertama dari empat bersaudara keluarga Bapak Makmun Hadi, S.Sos. dan Jurdi Hanis.

Penulis menempuh pendidikan di sekolah dasar di SD Negeri 1 Sekincau, Lampung Barat sejak 2005 sampai

dengan tahun 2011. Penulis selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Sekincau, Lampung Barat pada tahun 2011 sampai 2014, dan melanjutkan sekolah menengah atas di SMA Taruna Tunas Bangsa Batu Raja sejak 2014 sampai 2015 dan menyambung di SMA S Persada Bandar Lampung 2015 sampai 2017.

Pada tahun 2017 penulis terdaftar sebagai mahasiswa S1 Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SM-MPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi Asisten Dosen Mata Kuliah Kimia Dasar Pertanian pada tahun ajaran 2018/2019 semester ganjil dan 2018/2019 semester genap dan Asisten Dosen Mata Kuliah Fisika pada tahun ajaran 2018/2019 dan 2019/2020. Penulis juga aktif dalam kegiatan kemahasiswaan yaitu Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI). Penulis juga aktif dalam kegiatan

kemahasiswaan yaitu Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) sebagai anggota biasa.

Pada bulan Januari – Februari tahun 2020 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Rigis Jaya, Kecamatan Air Hitam, Kabupaten Lampung Barat dengan tema “Pemberdayaan desa Agrowisata dan edukasi”. Pada bulan Juni – Juli 2020 penulis melaksanakan Praktik Umum di Rumah Jenderal Kopi (SAUNG ORGANIK) desa Gunung Terang, kecamatan Air Hitam, Lampung Barat dengan judul “Proses Pengolahan Biji Kopi Petik Merah Dengan Metode *Honey* di Rumah Jenderal Kopi”.

PERSEMBAHAN



Dengan kerendahan hati kupersembahkan karya ini sebagai tanda cinta, kasih sayang, dan rasa terimakasihku kepada
Orangtuaku Bapak Makmun Hadi S.Sos. dan Ibu Jurdi Hanis
Serta adikku tersayang Resti Anitasari, Annisa Safitri dan Gufron Alfatih
Terima kasih selalu memberiku semangat, doa, nasihat serta pengorbanan yang tak tergantikan



لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

“Allah tidak membebani seseorang itu
melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

QS. Al-Baqarah Ayat 286

SANWACANA

Puji syukur senantiasa penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Sholawat dan salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang senantiasa kita harapkan syafaat beliau di hari kiamat kelak.

Skripsi dengan judul “**Pengaruh Ukuran Partikel dan Tekanan Terhadap Kualitas *Pellet* Dari Limbah Kulit kopi**” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M. Si., selaku Rektor Universitas Lampung
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M. Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M. P., selaku Pembimbing Akademik dan sekaligus Ketua Komisi Pembimbing (Pembimbing Utama) atas ketersediannya selama proses perkuliahan serta penyusunan skripsi.
5. Bapak Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc., selaku pembimbing kedua atas kesediaannya untuk memberikan nasihat, kritik, dan saran dalam penyusunan skripsi.

6. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T. P., M.Sc., selaku pembahas atas kesediaannya untuk memberikan nasihat, kritik, dan saran selama proses penyusunan skripsi.
7. Bapak Makmun Hadi, S.Sos. dan Ibu Jurdi Hanis, selaku orang tua yang telah mencurahkan segala doa, kasih dan sayangnya pada penulis selama ini.
8. Seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan beragam ilmu pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
9. Teman-teman dan sahabat Sugiono, Agung Wahyudi, Wahyu Ariefyanto, Willi Andreas Sinaga, Angga Aji Pratama, Ary Yuliansyah, Agung Kurnia Ramadhan yang selalu memberikan bantuan, dukungan, semangat dan motivasi.
10. Keluarga Teknik Pertanian Angkatan 2017, yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 4 November 2019

Penulis

Agustin Pratama Mahardika

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Hipotesis Penelitian	3
1.6. Batasan Masalah.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Limbah Kulit Kopi	5
2.2. Kandungan Kulit Kopi	6
2.2.1. Bagian-bagian kopi	8
2.3. Energi Biomassa.....	9
2.4. Densifikasi Biomassa	12
2.5. Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas <i>Pellet</i>	13
2.5.1. Pengaruh Ukuran Partikel	13
2.5.2. Pengaruh Kadar Air.....	13

2.5.3. Pengaruh Temperatur Alat Pencetak	14
2.5.4. Pengaruh Tekanan.....	14
2.6. Karakteristik <i>Pellet</i> Biomasa	14
2.7. Nilai Kalor	15
III. METODE PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat	17
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	17
3.2.1 Alat Penelitian.....	17
3.2.2 Bahan Penelitian	18
3.3. Prosedur Penelitian	18
3.3.1. Persiapan Bahan Baku	19
3.3.2. Penjemuran	19
3.3.3. Pengayakan	19
3.3.4. Penimbangan.....	19
3.3.5. Pencetakan <i>pellet</i>	19
3.4. Rancangan Percobaan	20
3.5. Parameter Pengamatan.....	21
3.5.1. Massa Jenis	21
3.5.2. Kadar air.....	22
3.5.3. Kekuatan <i>Pellet</i>	22
3.5.4. Kadar Abu.....	23
3.5.5. Massa Jenis Curah (<i>Bulk Density</i>)	23
3.5.6. Daya Serap Air.....	24
3.5.7. Analisis Warna.....	24
3.5.8. Nilai Kalor	25
3.6. Analisis Data.....	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1. Karakteristik Bahan	26
4.2. Kadar Air	28

4.3. Massa Jenis	31
4.4. Massa Jenis Curah (<i>Bulk Density</i>)	33
4.5. Kekuatan <i>Pellet</i>	34
4.6. Kadar Abu	36
4.7. Analisis Warna	38
4.8. Daya Serap Air	40
4.9. Nilai Kalor	44
V. KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan	46
5.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Mutu <i>pellet</i> biomassa Standar Nasional Indonesia (SNI) 8675:2018	15
2. Karakteristik bahan limbah kulit kopi.....	26
3. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap kadar air <i>pellet</i>	29
4. Uji beda nyata terkecil (BNT) pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap kadar air (%).....	30
5. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap masa jenis <i>pellet</i>	31
6. Uji beda nyata terkecil (BNT) pengaruh ukuran partikel dan pengaruh tekanan terhadap berat jenis <i>pellet</i>	32
7. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap kekuatan <i>pellet</i>	35
8. Uji beda nyata terkecil (BNT) pengaruh ukuran partikel terhadap kekuatan <i>pellet</i>	35
9. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap kadar abu <i>pellet</i>	37
10. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap uji warna <i>pellet</i>	38

11. Uji beda nyata terkecil (BNT) pengaruh ukuran partikel dan pengaruh tekanan terhadap warna <i>pellet</i>	39
12. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap daya serap air <i>pellet</i>	44
13. Data kadar air	56
14. Data massa jenis.....	58
15. Data <i>Bulk density</i>	60
16. Data kekuatan <i>pellet</i>	61
17. Data kadar abu.....	63
18. Data uji warna	65
19. Data daya serap air	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Limbah kulit kopi.....	5
2. Buah kopi	8
3. Limbah kulit kopi sesudah diayak.....	18
4. Alat pencetak <i>pellet Press</i> hidrolik.	20
5. Diagram alir penelitian.....	21
6. <i>Pellet</i> yang di gunakan dalam pengujian kadar air.	28
7. Diagram pengaruh perlakuan terhadap kadar air.	30
8. Diagram pengaruh perlakuan terhadap massa jenis.	33
9. Diagram pengaruh perlakuan terhadap <i>bulk density</i>	34
10. Diagram pengaruh perlakuan terhadap kekuatan <i>pellet</i>	36
11. Diagram pengaruh perlakuan terhadap kadar abu.....	37
12. Diagram pengaruh perlakuan terhadap analisis warna.....	40
13. Grafik daya serap air partikel halus pada semua perlakuan.	41
14. Grafik daya serap air partikel sedang pada semua perlakuan.	42
15. Grafik daya serap air partikel kasar pada semua perlakuan.	42
16. Grafik daya serap air partikel Campuran pada semua perlakuan.....	43
17. Tumpukan limbah kulit kopi.....	53

18. Pengayakan limbah kulit kopi.....	53
19. Pembuatan <i>pellet</i> dengan alat <i>press</i> hidrolis.....	53
20. Hasil pencetakan <i>pellet</i>	54
21. Pengovenan <i>pellet</i>	54
22. Pengujian massa jenis <i>pellet</i>	54
23. Pengujian uji kekuatan <i>pellet</i>	55
24. Hasil pengujian kadar abu.	55
25. Pengujian <i>bulk density</i>	55

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bahan bakar minyak dan gas masih menjadi energi utama dalam mendukung aktivitas masyarakat, pada umumnya masyarakat menggunakan (*Liquefied Petroleum Gas*) LPG dan bahan bakar minyak tanah untuk keperluan rumah tangga. Meningkatnya harga minyak di pasar dunia menyebabkan terjadinya kenaikan harga bahan bakar termasuk minyak tanah. Semakin tinggi harga minyak bumi di pasar dunia dan semakin menipisnya cadangan energi fosil, mendorong pencarian sumber-sumber energi alternatif terbarukan (Prihandana, 2007).

Sumber energi alternatif yang diteliti dan dikembangkan pada saat ini adalah energi biomassa, yang ketersediannya melimpah, mudah didapatkan, dan dapat diperbaharui secara cepat. Indonesia memiliki potensi energi biomassa sebesar 50.000 Mega Watt yang bersumber dari berbagai macam biomassa limbah pertanian, seperti : limbah kelapa sawit, limbah kulit kopi dan limbah pertanian lainnya (Hendroko, 2007).

Salah satu energi biomassa yang potensial adalah *biopellet* jenis bahan bakar padat berbasis limbah dengan ukuran lebih kecil dari ukuran briket, *pellet* merupakan salah satu sumber energi yang diharapkan dapat menggantikan sumber bahan bakar minyak, namun apabila langsung dijadikan sebagai bahan bakar mempunyai sifat-sifat yang kurang menguntungkan, antara lain kadar air yang

tinggi, bulki, mengeluarkan asap, banyak abu, dan nilai kalornya rendah (Zam et al., 2011).

Pellet yang memiliki kadar air dan kadar abu yang rendah sehingga menghasilkan panas yang tinggi dan lebih bersih dibandingkan dengan kayu bakar biasa. Proses pembuatannya tidak menimbulkan pencemaran udara, pengemasan, dan pemakaian *pellet* juga sangat mudah dan praktis serta tidak kotor. Di negara-negara Eropa dan Amerika *pellet* telah berkembang sangat pesat, bahkan telah menjadi bahan bakar penghangat ruangan dan dijadikan sebagai sumber energi di beberapa pabrik. Terdapat beberapa keuntungan dalam pengembangan bahan bakar biopellet ini, diantaranya yaitu, meningkatkan nilai *bulk density* (kerapatan), sehingga biaya transportasi biomassa menjadi lebih rendah, menghasilkan efisiensi konversi energi yang lebih tinggi, dan meningkatkan masa penyimpanan biopellet (Pellerano, 2011).

Salah satu tanaman perkebunan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yaitu kopi. Kopi merupakan salah satu hasil komoditas pertanian yang menghasilkan limbah hasil sampingan pengolahan yang cukup besar yakni berkisar antara 50-60 persen dari hasil panen berupa kulit kopi. Kulit kopi adalah limbah padat yang dihasilkan dari penanganan dan pengolahan kopi. Limbah kulit kopi kebanyakan masih dibuang dan belum dioptimalkan, saat ini hanya digunakan sebagai pupuk tanaman dan pakan ternak. Padahal jumlah produk samping ini sangat melimpah karena produktivitas tanaman kopi di Indonesia cukup tinggi. Propinsi Lampung sebagai salah satu propinsi yang memberi kontribusi cukup tinggi terhadap produksi kopi nasional yang memiliki luas 163,837 ha dengan total produksi 100.000 – 120.000 ton (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2016).

Produk samping limbah kulit kopi bisa di jadikan sebagai energi *biomassa*, limbah kulit kopi melalui proses lanjutan berupa pengeringan dan pengepresan yang dapat di jadikan bahan bakar *biopellet* limbah kulit kopi, limbah kulit kopi mengandung tiga komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terikat secara kuat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah pemanfaatan kulit kopi masih terbuang dan seharusnya masih bisa dikembangkan dan menjadi nilai guna yang bermanfaat bagi para petani.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap pembuatan *pellet* limbah kulit kopi ?
2. Bagaimana sifat fisik yang dihasilkan *pellet* limbah kulit kopi ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap sifat fisik *biopellet* kulit kopi.
2. Menguji sifat fisik *pellet* biomassa dari limbah kulit kopi.

1.4. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan dapat :

1. Sebagai sumber informasi sifat fisik bahan bakar *biopellet* limbah kulit kopi.
2. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat.
3. Sebagai sumber bahan bakar pengganti energi fosil.

1.5. Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini adalah bahwa ukuran partikel dan tekanan mempengaruhi sifat fisik *pellet* yang dibuat dari limbah kulit kopi

1.6. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Menggunakan bahan limbah kulit kopi sebagai bahan utama.
2. Hanya menggunakan ukuran partikel halus, sedang, kasar, dan campuran sebagai acuan penelitian.

3. Alat yang digunakan untuk mengempa bahan menjadi *biopellet* yaitu alat *press* hidrolik.
4. Tekanan yang digunakan dalam pembuatan *pellet* biomassa yaitu 131 MPa, 173 Mpa, 217 Mpa, dan 260 MPa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Kulit Kopi

Kopi merupakan salah satu komoditas penyegar utama yang sangat potensial di Indonesia. Salah satu perseteruan utama pada proses pengolahan kopi yaitu penanganan limbah padat dan cair, dalam setiap ton butir basah akan diperoleh 200 kg kulit kopi. Hal ini menampakan bahwa pengolahan kopi secara basah akan menghasilkan limbah padat maupun cair yang sangat besar . Kulit kopi mempunyai kandungan nutrisi dan senyawa yang potensial yang bisa diubah menjadi produk bernilai tambah (Widyotomo, 2012).



Gambar 1. Limbah kulit kopi

Saat ini eksistensi kulit kopi adalah limbah pertanian dengan jumlah besar, limbah kulit kopi menumpuk di tempat pengolahannya. Upaya yang bisa dilakukan buat mengolah limbah tersebut yaitu dengan dibakar atau dibuang ke sungai. Limbah

tersebut hanya sebagian kecil dikembalikan ke lahan sebagai pupuk, kondisi ini dikhawatirkan akan menyebabkan perkara polusi lingkungan (Bressani, 1979) Pengupasan kulit butir kopi (*pulping*) merupakan tahapan proses pengolahan kopi yg membedakan antara pengolahan kopi cara basah dengan kering. Mesin pengupas kulit buah kopi basah (*pulper*) digunakan buat memisahkan atau melepaskan komponen kulit buah berdasarkan bagian kopi berkulit cangkang (Widyotomo, 2010). Limbah kopi merupakan kulit butir (*pulp*) dan cangkang biji (*hull*) kopi yg tercampur karena pada proses pengelupasan buat menerima biji kopi (tanpa kulit) dilakukan dengan menggiling kopi bulat kering tanpa melalui proses pengelupasan kulit butir (*depulping*) juga cangkangnya (*dehulling*), limbah kulit kopi berpotensi dimanfaatkan sebagai *biopellet* (Prawirodigdo et al, 2005).

2.2. Kandungan Kulit Kopi

Limbah kulit kopi yang dihasilkan dari pembuatan kopi dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, namun didalam buah kopi terdapat kandungan lignoselulos dan tanin (Ginting, 2005). Lignin merupakan satu zat komponen penyusun tanaman, komposisi bahan penyusun ini berbeda-beda tergantung jenisnya. Lignin terakumulasi dalam batang tumbuhan berbentuk pohon dan semak, lignin berfungsi sebagai bahan pengikat komponen penyusun lainnya, sehingga suatu pohon sanggup berdiri tegak. Lignin adalah gabungan beberapa senyawa yang hubungannya erat satu sama lain, mengandung karbon, hidrogen dan oksigen, namun proporsi karbonnya lebih tinggi dibanding senyawa karbohidrat (Tillman et al, 1989). Lignin digolongkan menjadi karbohidrat karena hubungannya menggunakan selulosa dan hemiselulosa dalam menyusun dinding sel, namun lignin bukan karbohidrat. Hal ini ditunjukkan oleh proporsi karbon yang lebih tinggi pada lignin (Suparjo, 2008).

Selulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel tanaman, kandungan selulosa dalam dinding sel tanaman taraf tinggi lebih kurang 35-50% menurut berat kering flora (Lynd et al., 2002). Selulosa adalah zat penyusun tanaman yang terdapat dalam struktur sel. Kadar selulosa dan hemiselulosa pada tanaman pakan yang muda mencapai 40% dari bahan kering. Bila hijauan makin tua proporsi selulosa dan hemiselulosa makin bertambah (Tillman et al, 1989).

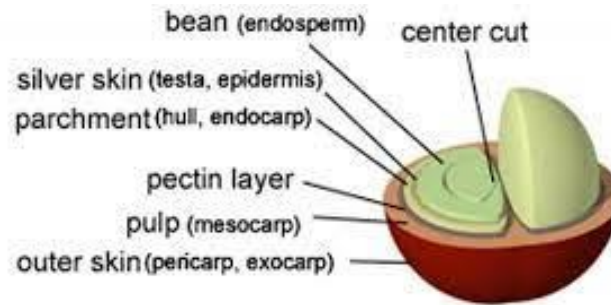
Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida yang mengandung berbagai gula, terutama pentose. Hemiselulosa umumnya terdiri dari dua atau lebih residu pentose yang berbeda. Komposisi polimer hemiselulosa sering mengandung asam uronat sehingga mempunyai sifat asam. Hemiselulosa memiliki derajat polimerisasi yang lebih rendah, lebih mudah dibandingkan selulosa dan tidak berbentuk serat-serat yang panjang (Kusnandar, 2010).

Hemiselulosa adalah gerombolan polisakarida tidak sejenis dengan berat molekul rendah. Jumlah hemiselulosa umumnya antara 15 dan 30 persen berdasarkan berat kering bahan lignoselulosa. Hemiselulosa relatif lebih mudah dihidrolisis dengan asam sebagai monomer yang mengandung glukosa, mannosa, galaktosa, xilosa dan arabinosa. Hemiselulosa mengikat lembaran serat selulosa membangun mikrofibril yg menaikkan stabilitas dinding sel. Hemiselulosa jua berikatan silang menggunakan lignin menciptakan jaringan kompleks dan menaruh struktur yg kuat (Suparjo, 2008).

Tanin merupakan senyawa polyphenol dengan bobot molekul tinggi yang mengandung hidroksil dan unsur lainnya untuk membentuk satuan yang kuat dengan protein dan molekul lain, seperti karbohidrat. Tanin terdapat pada bagian kulit kayu, batang, daun dan buah – buahan. Tanin mengandung sejumlah gugus fungsional yang dapat membentuk kompleks yang kuat dengan molekul protein dan menghasilkan efek negatif dan positif bagi ternak. Rasa pahit yang ada dalam mulut diakibatkan oleh kompleks tanin dan proteinsaliva yg pada akhirnya menghipnotis palatabilitas dan konsumsi pakan, bahwa tannin berpengaruh sangat nyata terhadap kegiatan enzim protease (*tripsin*). Ini berarti meningkat kadar tanin dalam substrat akan menyebabkan aktivitas enzim protease semakin rendah dalam memecah protein sebagai asam amino. Melihat penurunan aktivitas enzim tripsin yang sangat signifikan maka pada kadar tanin yang lebih tinggi dari 8% kemungkinan besar aktivitas enzim tripsin akan berhenti. Ternak yang mengonsumsi tanin tinggi akan menimbulkan berbagai problem, seperti gangguan metabolisme protein, energi dan vitamin B kompleks, agar pakan dicerna dengan baik oleh rumen maka perlu dilakukan upaya penurunan kadar tanin yang terdapat pada kulit kopi (Ginting, 2005).

2.2.1. Bagian-bagian kopi

Bagian-bagian kulit kopi yang digunakan dalam pembuatan *pellet* limbah kopi ini adalah bagian yang sudah terbuang dan tidak ada nilai jual lagi bagi para petani, berikut bagian kopi yang tidak digunakan lagi :



Gambar 2. Buah kopi

a. Kulit luar (*outer skin*)

Kulit buah merupakan lapisan paling luar dari buah kopi, kulit buah kopi berwarna hijau pada saat kopi belum matang, namun seiring waktu kulit buah kopi akan berubah menjadi merah yang menandakan buah kopi sudah matang, kulit buah kopi mempunyai struktur tebal yang bertujuan untuk melindungi buah dari serangan hama serangan.

b. Kulit tanduk (*endocarp*)

Kulit tanduk merupakan lapisan yang menjadi batas antara kulit dan biji yang keadaannya agak keras, kulit tanduk akan mengeras selama pematangan buah kopi.

c. Kulit ari (*silver skin*)

Kulit ari merupakan bagian dari kulit buah yang melindungi biji kopi, pada saat penggilingan sebagian kulit ari akan ikut terbuang dan ada juga yang menempel pada biji kopi, kulit ari yang masih menempel pada biji kopi akan terbuang pada saat pengolahan biji kopi pada mesin roasting.

Dari penjelasan-penjelasan diatas, kulit buah, kulit tanduk, dan kulit ari akan terbuang saat penggilingan buah kopi. Kulit buah, kulit tanduk, dan kulit ari tidak dapat diolah lagi dan akan terbuang, maka dari itu peneliti memanfaatkan limbah kulit kopi tersebut untuk dijadikan bahan dalam pembuatan *pellet* limbah kulit kopi, perbandingan limbah kulit kopi dengan biji kopi yaitu 60 % biji kopi 30 % limbah kulit kopi (Suwanto & Octavianty, 2010).

2.3. Energi Biomassa

Ada dasarnya fenomena pembakaran langsung biomasa menjadi panas telah dilakukan oleh nenek moyang kita sejak jutaan tahun yang lampau. Dengan membakar kayu, dedaunan dipergunakan untuk memasak, membakar maupun menghangatkan tubuh. Pembakaran langsung biomasa kedalam ruang bakar kadang di pandang tidak efisien. Hal ini disebabkan ukuran atau volume biomasa. Sebagai langkah untuk mengefisienkan proses pembakaran langsung maka proses densifikasi atau biasa dikenal briket perlu dilakukan. Manfaat yang diperoleh adalah meningkatkan energi per unit volume disamping menyeragamkan ukuran biomasa yang akan masuk dalam ruang bakar. Ukuran yang lebih padat dengan peningkatan *density* menjadikan briket lebih efisien sehingga meningkatkan nilai kalor per unit volume. Proses pembriketan sering terjadi pada limbah biomasa seperti jerami, bekas gergajian, atau berbagai cangkang biomasa seperti cangkang kopi, coklat maupun kemiri serta jagung, ketela dan limbah jarak pagar yang sangat menarik untuk dikaji. Konsumsi biomasa cenderung kian meningkat dari tahun ke tahun. Diperkirakan lebih dari separuh penduduk dunia masih memasak dengan menggunakan bahan bakar biomasa. Karbon dioksida dari atmosfer dan air yang diserap oleh akar tumbuhan bereaksi melalui proses fotosintesis untuk memproduksi karbohidrat (atau gula) yang terkandung pada biomasa. Energi matahari yang membantu proses fotosintesis disimpan dalam ikatan kimia dari komponen biomasa. Selama proses pembakaran, oksigen dari atmosfer bereaksi dengan karbon di biomasa sehingga memproduksi karbon dioksida dan air. Proses tersebut berlangsung secara terus-menerus dan berputar (*siklik*) karena karbon dioksida yang dihasilkan dapat digunakan kembali untuk menghasilkan biomasa

yang baru. Inilah salah satu alasan mengapa energi bio dipertimbangkan sebagai bahan bakar netral karbon.

Biomassa adalah bahan terbarukan alami yang kompleks dengan variabilitas kimia yang sangat besar. Potensinya untuk memproduksi energi bervariasi dalam kaitannya dengan proses yang digunakan, yang mungkin melibatkan teknologi dasar atau canggih. Bahan ini dapat ditemukan di berbagai benua, penggunaannya untuk produksi energi dan produk energi sekunder (bahan bakar padat, cair, dan gas) harus dikembangkan dan disebarluaskan, dan kemampuan mendaur ulang residu pertanian, kehutanan, dan industri meningkat. Bersama dengan sumber daya terbarukan lainnya, seperti matahari, angin, dan pembangkit listrik tenaga air, biomassa adalah sumber daya energi berkelanjutan utama di masa depan dari planet ini (Bonechi, 2014).

Biomassa merupakan bahan-bahan organik berumur relatif muda dan berasal dari tumbuhan, hewan, produk dan limbah industri budidaya (pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, perikanan). Unsur utama dari biomassa adalah bermacam-macam zat kimia (*molekul*) yang sebagian besar mengandung atom karbon (C). Biomassa secara garis besar tersusun dari selulosa dan lignin (sering disebut lignin selulosa). Komposisi elementer biomassa bebas abu dan bebas air kira-kira 53% massa karbon, 6% hidrogen dan 42% oksigen, serta sedikit nitrogen, fosfor dan belerang (biasanya masing-masing kurang dari 1%). Kadar abu kayu biasanya kurang dari 1% (Supriyanto dan Merry, 2010).

Istilah biomassa menunjukkan bahan organik yang berasal dari tumbuhan atau hewan, spontan atau dibudidayakan oleh manusia, darat dan laut, diproduksi secara langsung atau tidak langsung melalui proses fotosintesis yang melibatkan klorofil. Secara umum, biomassa dapat didefinisikan sebagai apa saja yang memiliki matriks organik. Dengan demikian, istilah biomassa mengidentifikasi sejumlah besar bahan dan matriks heterogen untuk membatasi rentang analisis ini, kami hanya mempertimbangkan biomassa asal tanaman dan khususnya residu pertanian dan agroindustri dan limbah, tanaman energi, dan residu dan limbah kehutanan. Kami tidak mempertimbangkan masalah terkait penggunaan lahan dan bagaimana produksi tanaman energi bersaing untuk lahan dengan produksi pangan. Memang konsep energi dari biomassa menganggap biomassa sebagai

produk energi terbarukan yang diperoleh sebagai produk samping dari produk primer, misalnya pemangkasan pohon buah-buahan atau jerami sebagai produk sampingan dari produksi sereal. Potensi ketersediaan global dari biomassa yang tidak dieksploitasi sendiri dapat menyediakan 10% –20% dari kebutuhan energi primer planet ini (Bonechi, 2014).

Biomassa bersumber energi yang bersih dan dapat diperbaharui namun biomassa mempunyai kekurangan yaitu tidak dapat langsung dibakar, karena sifat fisiknya yang buruk, seperti kerapatan energy yang rendah dan permasalahan penanganan, penyimpanan dan transportasi (Saptoadi, 2006). Menurut (Yamada et al, 2005), penggunaan biomassa secara langsung dan tanpa pengolahan akan menyebabkan timbulnya penyakit pernafasan yang disebabkan oleh karbon 6 monoksida, sulfur oksida (SO₂) dan bahan partikulat. Untuk memperbaiki karakteristik biomassa dilakukan cara densifikasi dalam bentuk briket atau *biopellet*. *Pellet* kulit kopi merupakan salah satu bentuk dari energi biomassa, biomassa *pellet* diproduksi di Swedia sekitar tahun 1980an, *pellet* biomassa digunakan sebagai pemanas ruang. *Pellet* dibuat dari hasil samping terutama serbuk kayu, sekarang ini bahan baku pembuatan pelet biomassa dapat menggunakan bahan yang lainnya. *pellet* memiliki ukuran diameter 6-12 mm serta panjang 10-20 mm. *Biopellet* merupakan bahan bakar padat berbasis biomassa yang berbentuk tabung padat atau *pellet*. Proses yang digunakan adalah pengempaan dengan suhu dan tekanan tinggi, sehingga membentuk produk yang seragam.

Bahan bakar *pellet* ini berdiameter antara 3-12 mm dengan panjang antara 6-25 mm (Karkania et al, 2012). *Biopellet* memiliki keunggulan yaitu dapat meningkatkan nilai kalor yang dihasilkan dari prose pembakaran. Ukuran dan keseragaman *biopellet* dapat memudahkan proses transportasi dari satu tempat ke tempat lainnya (Bhattacharya, 1998). *Pellet* biomassa merupakan salah satu produk yang dikembangkan sebagai alternatif sumber energi baru yang digunakan sebagai bahan bakar. *Pellet* tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar kebutuhan rumah tangga, pertanian, dan industri besar, bahkan juga bisa untuk industri pembangkit tenaga. biomassa yang diproduksi secara langsung dengan proses kempaan serta dengan penambahan perekat dalam proporsi yang tidak melebihi 3% dari beratnya, berbentuk silinder dengan diameter tidak lebih dari 25

mm dan panjang tidak lebih dari 100 mm. *Pellet* biomassa dapat menjadi bahan bakar andalan karena mengandung nilai kalor yang tinggi dan dapat menghemat penggunaan bahan bakar fosil yang harganya semakin tinggi serta jumlahnya yang semakin menipis di Indonesia.

2.4. Densifikasi Biomassa

Densifikasi merupakan proses pemadatan biomassa dengan cara pengempaan/penekanan sehingga rapat massa dan kerapatan potensi energinya meningkat. Satu cara untuk memperbaiki sifat fisik suatu bahan yaitu dengan densifikasi yang bertujuan untuk memadatkan dan meningkatkan kerapatan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi nilai bahan yang digunakan. Proses densifikasi dilakukan pada bahan yang memiliki sifat fisik tidak beraturan atau berbentuk curah (Syamsiro, 2016).

Tiga teknologi densifikasi untuk membuat *pellet* biomassa antara lain, pemadatan dengan tekanan tinggi, pemadatan dengan tekanan sedang diiringi dengan pemanasan bahan, pemadatan dengan tekanan rendah menggunakan bahan perekat. Pemadatan dengan tekanan tinggi tidak memerlukan adanya bahan perekat karena pada bahan baku biomassa terdapat kandungan lignin sebagai perekat alami (Fisafarani, 2010). Proses densifikasi dilakukan untuk meningkatkan densitas dan mengurangi permasalahan dalam penanganan seperti penyimpanan dan pengangkutan secara umum densifikasi biomassa mempunyai beberapa keuntungan (Syamsiro, 2016).

- a. Menaikkan nilai kalori per unit volume.
- b. Mudah disimpan dan diangkut.
- c. Mempunyai ukuran dan kualitas yang seragam.

Di sisi lain densifikasi juga mempunyai beberapa aspek kelemahan, seperti tingginya biaya investasi dan kebutuhan energi yang dibutuhkan serta adanya karakteristik pembakaran yang tidak diinginkan, seperti sulit menyala dan mengeluarkan asap.

2.5. Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas *Pellet*

2.5.1. Pengaruh Ukuran Partikel

Ukuran dan bentuk partikel bahan baku biomasa sangat berpengaruh pada proses densifikasi. Meskipun teknologi *screwpress* yang menggunakan tekanan tinggi (1000-1500 bar) dapat diaplikasikan pada material biomasa berukuran besar, proses pembuatan *pellet* tidak akan berjalan lancar dan penyumbatan dapat terjadi di bagian awal proses. Partikel biomasa yang lebih besar tidak akan terhancurkan dengan baik dan akan bertambah dan terakumulasi di bagian masuk dan steam yang dihasilkan akibat temperatur yang tinggi (sesuai dengan perputaran penghancur, panas yang dihasilkan dari alat pencetak, dan juga jika material dipanaskan terlebih dahulu) seputar mesin mulai berkondensasi dan terbentuk gumpalan sehingga menyebabkan terjadinya penyumbatan. Untuk menghindari hal tersebut, seringkali partikel yang lebih besar dihancurkan terlebih dulu sehingga didapatkan ukuran partikel yang bervariasi, variasi pada ukuran partikel meningkatkan dinamik susunan partikel saat pengompakkan dan berkontribusi kepada kekuatan statis yang tinggi (Saptoadi, 2006).

2.5.2. Pengaruh Kadar Air

Persentase kadar air pada bahan baku biomasa yang masuk ke mesin pengepres merupakan faktor yang sangat penting. Secara umum, disimpulkan bahwa saat kadar air biomasa 8-10%, *pellet* akan mempunyai kadar air 6-8%. Pada kadar air demikian, *pellet* bersifat kuat dan bebas pecah/retak serta proses pembuatan *pellet* akan berjalan lancar. Akan tetapi, bila kadar air kurang dari 8%, *pellet* akan bersifat lemah dan rapuh. Pada proses pembuatan *pellet*, air juga bertindak sebagai perekat dengan menguatkan ikatan pada *pellet*. Pada bahan baku biomasa, air membantu terjadinya ikatan dengan meningkatkan area kontak partikel. Berhasil tidaknya proses pengompakkan bergantung pada kadar air yang dimiliki oleh bahan baku biomasa. Jumlah kadar air yang tepat mengakibatkan terjadinya ikatan alami dari komponen lignocelulosic. Kadar air yang terkandung dalam biomasa juga mempengaruhi densitas bulk dari *pellet* yang dihasilkan, *Pellet* yang dibuat

tanpa pre-treatment awal akan mempunyai densitas bulk lebih besar bila kandungan air didalamnya lebih kecil (Tumuluru et al., 2010).

2.5.3. Pengaruh Temperatur Alat Pencetak

Adanya baling-baling penghancur pada teknologi screw press mengakibatkan terjadi panas pada alat pencetak. Hal ini memberikan dua keuntungan mesin dapat beroperasi dengan konsumsi daya yang lebih rendah dan umur manfaat dari alat pencetak akan lebih panjang. Temperatur alat pencetak harus dijaga pada rentang 280-290 °C. Jika temperatur alat pencetak lebih tinggi, friksi antara bahan baku dengan dinding alat pencetak akan menurun menyerupai pengompakkan yang terjadi pada tekanan yang lebih rendah yang menghasilkan hasil densifikasi yang lemah. Sebaliknya, temperatur rendah akan membutuhkan tekanan dan daya yang lebih tinggi sedangkan laju produksi menurun (saputro et al., 2012).

2.5.4. Pengaruh Tekanan

Kenaikan tekanan pengempaan memberikan kenaikan densitas pellet, kenaikan densitas pellet dipengaruhi juga akibat ukuran partikel. Partikel halus tekanan yang diberikan akan mendorong partikel ke daerah yang kosong sehingga jumlah pori berkurang. Serbuk yang lebih kecil akan mengisi antara serbuk yang lebih besar, akibatnya densitas naik sejalan dengan kenaikan tekanan pengempaan. Tekanan juga memberikan pengaruh terhadap kerapatan pada saat proses densifikasi kerapatan biopellet yang semakin tinggi dapat mempermudah dalam penanganan, penyimpanan, dan transportasi. Pellet juga memiliki tingkat daya serap air yang rendah membuat pellet tidak cepat berjamur, tekanan yang terlalu rendah menyebabkan pellet hasilnya kurang maksimal namun jika tekanannya terlalu tinggi justru pellet akan patah dan retak di bagian tengah (Fisafarini, 2010).

2.6. Karakteristik *pellet* biomasa

Biopellet yang berasal dari biomassa dikonversi dan dimanfaatkan sebagai energi bahan bakar dengan menggunakan teknik densifikasi. Teknik ini bertujuan untuk meningkatkan densitas (kerapatan) dari bahan dan memudahkan penyimpanan.

Biopellet memiliki karakteristik yang berbeda tergantung pada bahan yang dibuat, sebagian besar *biopellet* untuk bahan bakar menggunakan zat organik atau biomassa. Keuntungan utama menggunakan bahan bakar pelet biomassa adalah penggunaan kembali bahan limbah yang baru saja dibuang. Sedangkan penggunaan bahan bakar biomassa secara langsung tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu mengakibatkan timbulnya penyakit pernapasan yang disebabkan oleh karbon monoksida, sulfur dioksida dan bahan partikulat (Suyoko *et al.*, 2020). Perlunya dilakukan pengolahan bahan biomassa menjadi bentuk padatan seperti briket dan *biopellet* untuk mengurangi dampaknya dan memudahkan proses pemindahan (transportasi) dari satu tempat ke tempat lain karena keseragaman bentuk serta ukurannya (Winaya dan Susila, 2010). Penggunaan *biopellet* diperuntukan sebagai bahan bakar kebutuhan rumah tangga, pertanian, industri besar, bahkan juga bisa untuk industri pembangkit tenaga. Standarisasi pelet biomassa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Mutu *pellet* biomassa Standar Nasional Indonesia (SNI) 8675:2018

Parameter Uji	Satuan, Min/Maks	Rumah Tangga	Industri
Kadar air	(%) Maks	12	14
Kadar zat terbang	(%) Maks	75	80
Kadar abu	(%) Maks	5	5
Kadar karbon terikat	(%) Min	14	14
Kerapatan	(g/cm ³) Min	0,6	0,8
Nilai kalor	(MJ/kg) Min	16,5	16,5

Sumber : (Standarisasi Nasional Indonesia, 2018).

2.7. Nilai Kalor

Nilai kalor adalah paramater yang sangat penting dalam menentukan kualitas *pellet*, tingginya nilai kalor maka semakin besar nilai yang terkandung pada bahan. Nilai kalor berbanding lurus dengan nilai kerapatan suatu bahan, dan berbanding terbalik dengan nilai kadar abu (Baud et al, 2006). Nilai kalor

dipengaruhi oleh kadar air dan kerapatan, semakin tinggi kadar air pada bahan maka semakin rendah nilai kalor yang dihasilkan, dan semakin padat bahan tersebut dihasilkan maka nilai kalor yang dihasilkan akan sejalan (Rahman, 2011).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2020 – Maret 2021 di Laboratorium Daya, Alat, dan Mesin Pertanian (DAMP), dan Laboratorium Rekayasa Sumber daya Air dan Lahan (RSDAL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

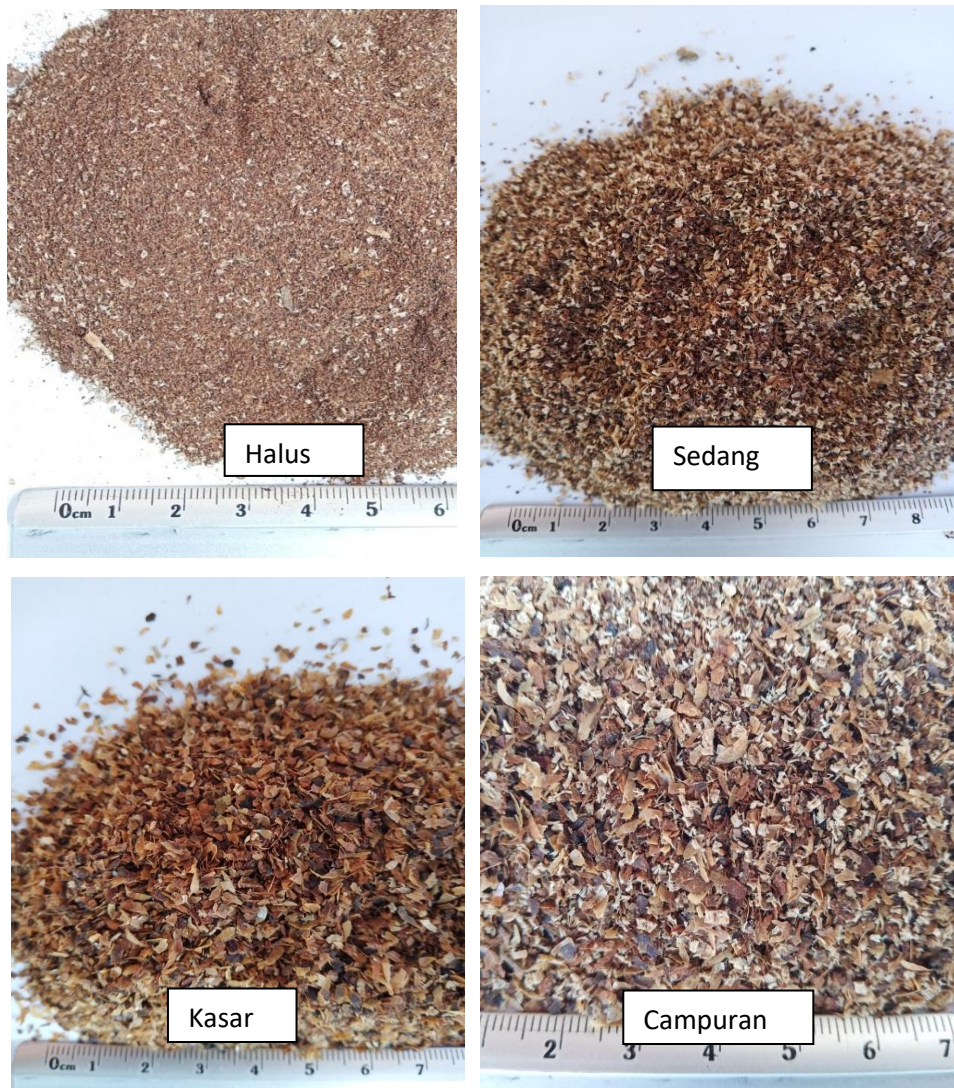
3.2.1 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian, sebagai berikut :

- a. Alat pres hidrolik, digunakan sebagai pencetak *pellet*.
- b. Timbangan digital, digunakan untuk menimbang berat beban *pellet*
- c. Penggiling, digunakan untuk menghaluskan kulit kopi
- d. Ayakan, digunakan untuk mengayak kulit kopi dan ayakan sendiri dibutuhkan sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 mesh, 18 mesh, 35 mesh, dan 40 mesh.
- e. Oven, digunakan untuk mengeringkan *pellet* agar kadar air didalam *pellet* berkurang.
- f. Cawan, sebagai wadah *pellet*
- g. Sendok, untuk memasukkan sampel serbuk limbah kulit kopi kedalam plastik
- h. Toples, digunakan untuk menyimpan *pellet*.
- i. Alat tulis diperlukan untuk mencatat hasil dari penelitian.
- j. Plastik dengan ukuran 100 gr sebagai wadah (sampel) serbuk kulit kopi yang dihaluskan.

3.2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit kopi sebagai bahan utama.



Gambar 3. Limbah kulit kopi sesudah diayak.

3.3 Prosedur Penelitian

Dalam proses pembuatan *pellet* dari kulit kopi dengan teknik densifikasi, ada beberapa tahapan proses yang dilalui meliputi persiapan bahan baku, pengempaan, pengepresan, pengeringan, dan analisis hasil, tahapan – tahapan yang dilakukan dalam pembuatan *pellet* akan dijelaskan pada sub-bab dibawah ini.

3.3.1. Persiapan Bahan Baku

Persiapan bahan baku dimulai dari pengambilan bahan kulit kopi kering, bahan baku kulit kopi kering diperoleh dari desa Tanjakan Senen, kelurahan Sekincau Tua, kecamatan Sekincau, kabupaten Lampung Barat.

3.3.2. Penjemuran

Penjemuran dilakukan untuk mengeringkan kulit kopi, penjemuran dilakukan selama tiga hari sampai bahan kulit kopi terlihat kering dan siap untuk diayak dan dicetak.

3.3.3. Pengayakan

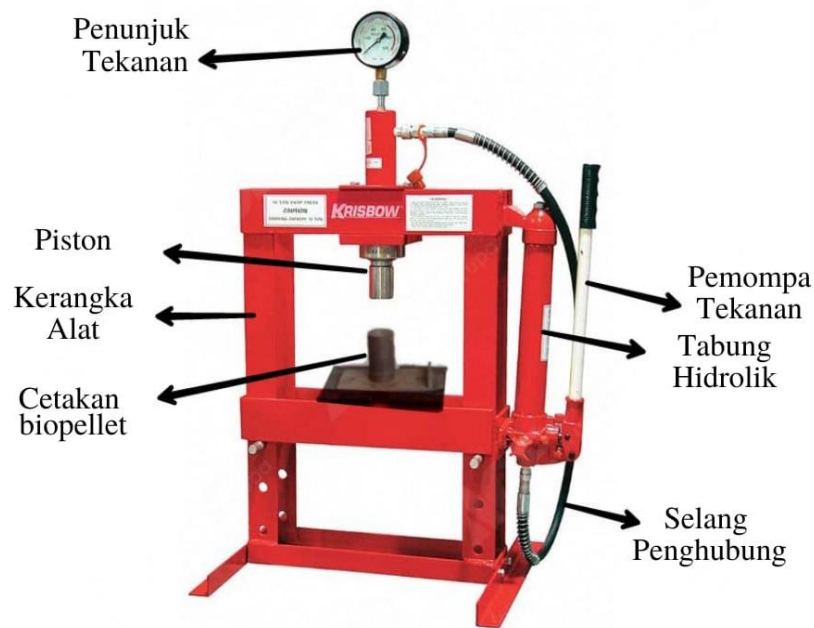
Pengayakan dilakukan dengan menggunakan 3 ukuran ayakan yaitu ukuran 35 mesh, 18 mesh, dan 10 mesh, sehingga di dapatkan ukuran partikel yang berbeda pada bahan baku yang akan di cetak menjadi *pellet*. Penggunaan 3 ukuran berbeda yang bertujuan mencari karakteristik *pellet* limbah kulit kopi pada penelitian ini.

3.3.4. Penimbangan

Penimbangan bahan dilakukan untuk mempersiapkan bahan sebelum di cetak, bahan ditimbang seberat 3 gram dan dimasukkan ke dalam plastik agar pada saat pencetakan tidak memakan waktu lebih banyak sehingga pencetakan dapat dilakukan dengan cepat.

3.3.5. Pencetakan pellet

Pencetakan dilakukan dengan menggunakan alat press hidrolik, yang di tunjukkan pada Gambar 4. Bahan baku yang sudah ditimbang (3 gram) dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk silinder dengan diameter 1,2 cm. Pemberian tekanan yaitu, 1,5 ton (131MPa), 2 ton (173 MPa) , 2,5 ton (217 MPa) dan 3 ton (260 MPa).



Gambar 4. Alat pencetak pelet Pres Hidrolik.

3.4. Rancangan Percobaan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan acak lengkap faktorial, penelitian ini menggunakan dua faktor, yaitu faktor ukuran partikel dan faktor tekanan, pada jenis bahan kulit kopi.

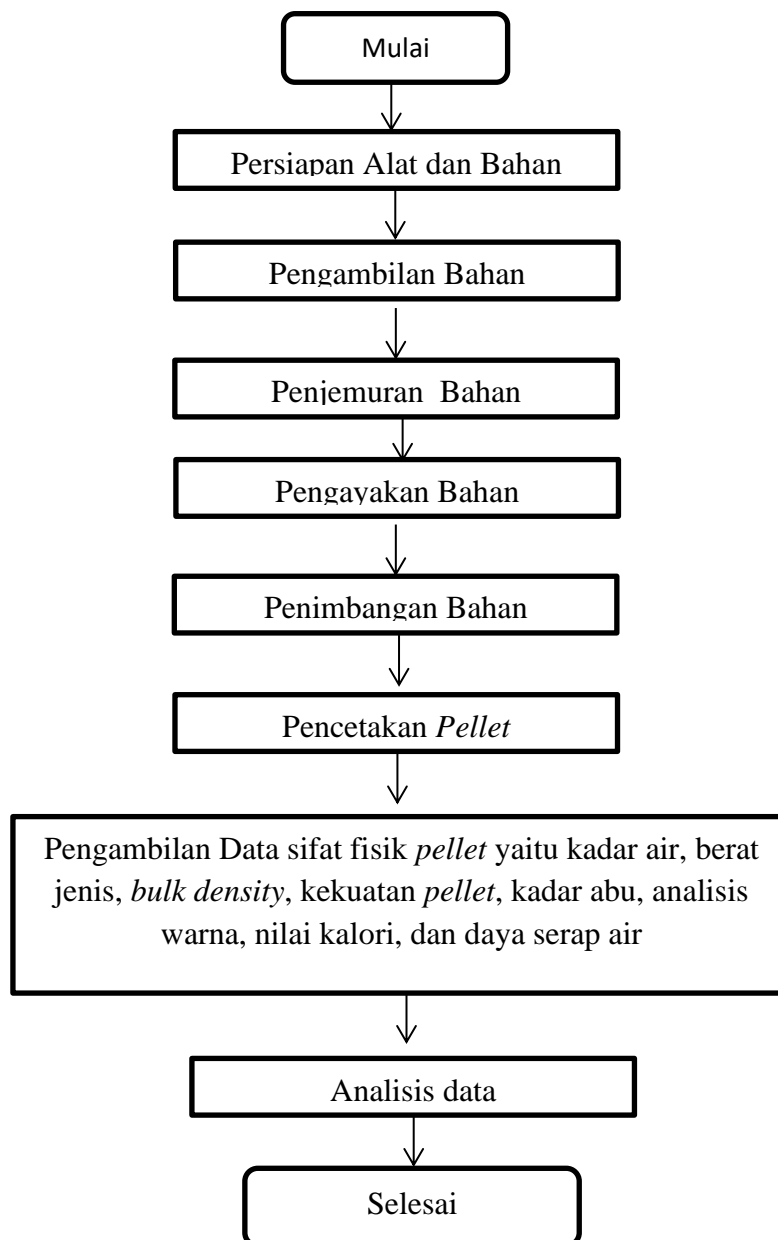
Faktor ukuran partikel terdiri dari 4 taraf, yaitu :

1. Halus 35 mesh (P1)
2. Sedang 18 mesh (P2)
3. Kasar 10 mesh (P3)
4. Campuran (P4)

Faktor Tekanan terdiri dari 4 taraf, yaitu :

1. Tekanan 1,5 Ton : 131 MPa (T1)
2. Tekanan 2 Ton : 173 MPa (T2)
3. Tekanan 2,5 Ton : 217 MPa (T3)
4. Tekanan 3 Ton : 260 MPa (T4)

Masing - masing perlakuan perparameter akan mengalami pengulangan (U) sebanyak 3 kali sehingga total sampel yang digunakan adalah 48 sampel.



Gambar 5. Diagram alir penelitian.

3.5. Parameter Pengamatan

3.5.1. Massa Jenis

Massa jenis adalah perbandingan relatif antara massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni. Berat jenis memegang peranan penting dalam berbagai proses pengolahan, penanganan dan penyimpanan *biopellet*. Massa jenis

merupakan faktor penentu dari kerapatan, satuan sistem internasional untuk berat jenis adalah (g/cm^3).

Analisis massa jenis dilakukan dengan mengambil *pellet* setiap perlakuan kemudian di ukur panjang, diameter dan di timbang berat *pellet*, kemudian di hitung :

$$S = \frac{w}{V} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

s = berat jenis benda (g/cm^3)

w = berat benda (g)

V = volume benda (cm^3)

3.5.2. Kadar air

Kadar air adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam *pellet* dengan berat *pellet* yang sudah di keringkan. Kadar air yang tinggi akan berakibat semakin lama bahan bakar tersebut terbakar dan membutuhkan energi yang besar, selain itu kadar air yang tinggi juga dapat menyebabkan *pellet* mudah berjamur. Analisis kadar air *pellet* limbah kulit kopi menggunakan oven Memmert DIN 40050 – IP 20. Analisis kadar air dilakukan dengan mengambil 1 bahan sampel cawan berisi *pellet* dengan bobot yang sudah diketahui. Dikeringkan dalam oven dengan suhu $105\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam sampai kadar air konstan. Tahap terakhir didinginkan ke dalam desikator sampai suhu stabil dan timbang, kadar air dihitung:

$$\text{Kadar Air} = \frac{(m_B - m_K)}{m_B} \times 100 \% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

m_B = Massa sampel sebelum dikeringkan

m_K = Massa sampel setelah kering

3.5.3. Kekuatan Pellet

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan dan kekuatan *pellet* ketika disimpan atau pada saat dipindahkan. Uji kekuatan didapatkan dari hasil uji pelet yang dijatuhkan dari ketinggian 1,5 meter. Setelah dijatuhkan pelet diamati dan ditimbang kembali. Untuk mengetahui nilai uji kekuatan maka

dilakukan perbandingan bobot pelet setelah dibanting dengan berat pelet sebelum dibanting. Kemudian diamati perubahan fisik pelet.

$$\text{Kekuatan } biopellet = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

W1 = bobot awal

W2 = bobot setelah dijatuhkan

3.5.4. Kadar Abu

Analisis kadar abu *pellet* limbah kulit kopi menggunakan tanur Stuart SF7/D seri R000100019. Penetapan kadar abu dilakukan dengan sampel *pellet* yang diletakkan pada cawan porselin yang bobotnya sudah diketahui, kemudian dimasukkan ke dalam tanur dengan suhu maksimal 550°C selama 3 jam. Selanjutnya didinginkan dalam desikator sampai kondisi stabil dan ditimbang kadar abu dihitung :

$$\text{Kadar Abu \%} = \frac{\text{Bobot abu (gr)}}{\text{Bobot sampel kering oven (gr)}} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

3.5.5. Massa Jenis Curah (*Bulk Density*)

Densitas menunjukkan perbandingan antara berat dan volume bahan bakar padat. Densitas berpengaruh terhadap kualitas bahan bakar padat, karena densitas yang tinggi dapat meningkatkan nilai kalor bahan bakar padat. Besar dan kecilnya densitas bahan bakar padat dipengaruhi oleh tekanan kempa, ukuran dan kehomogenan penyusun bahan bakar padat itu sendiri. Satuan dari densitas adalah gr/cm^3 .

Analisis bulk density dilakukan dengan memasukkan pellet ke dalam gelas plastik kemudian di timbang, lalu di beri tanda pada gelas plastik kemudian gelas plastik di beri air kemudian ditimbang, bulk density di hitung :

$$\text{Bulk density} = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

M = Berat sampel (g)

V = volume sampel (m³)

3.5.6. Daya Serap Air

Daya serap air adalah kemampuan bahan dalam menyerap air (daya hisap). Daya serap air yang tinggi akan berpengaruh pada kualitas *Pellet* itu sendiri biasanya akan lebih mudah tumbuhnya jamur pada *pellet*. Daya serap yang tinggi disebabkan oleh besarnya kadar pori pada *pellet*. Analisis daya serap air dilakukan dengan membiarkan *pellet* dalam ruang terbuka dan mengamati penambahan massanya secara berkala selama satu bulan dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{m_B - m_k}{m_B} \times 100 \% \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan

mk= massa kering (tetap) (kg)

mb= massa setelah di biarkan diruang terbuka (kg)

3.5.7. Analisis Warna

Pengujian warna dilakukan terhadap *pellet* limbah kulit kopi, Analisi warna *pellet* limbah kulit kopi menggunakan Colorimeter AMT 506. Pengujian perubahan warna dilakukan dengan menggunakan sistem CIE-Lab dengan mengukur parameter warna kecerahan (L*), kroma merah/hijau (a*), dan kroma kuning/biru (b*). Perubahan warna secara keseluruhan (ΔE^*) dapat dihitung menggunakan Persamaan.

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \dots\dots\dots (7)$$

Pada analisis warna ini dibandingkan warna dari masing-masing pellet, dari setiap jenis ukuran partikel, dimana, ΔL^* , Δa^* , dan Δb^* , secara berurutan adalah perubahan kecerahan, perubahan kroma merah/hijau, dan perubahan kroma kuning/biru.

Derajat perubahan warna ditentukan berdasarkan klasifikasi.

$0,0 < \Delta E^* = 0,5$ = perubahan dapat dihiraukan

$0,5 < \Delta E^* = 1,5$ = perubahan warna sedikit

$1,5 < \Delta E^* = 3$ = perubahan warna nyata

$3 < \Delta E^* = 6$ = perubahan warna besar

$6 < \Delta E^* = 12$ = perubahan warna sangat besar

$\Delta E^* > 12$ = warna berubah total.

3.5.8. Nilai Kalor

Analisis nilai kalor menggunakan *boom colorimeter* type “PARR” 1341 Plain Jacket Colorimeter, analisis nilai kalor merupakan salah satu indikator dalam menentukan kualitas *biopellet*, semakin tinggi nilai kalor menunjukkan kualitas bahan yang semakin baik. Penetapan nilai kalor menggunakan bahan limbah kulit kopi yang sudah di oven dan ditimbang sebanyak 1 gram bahan, kemudian bahan dibawa ke laboratorium untuk diuji kalor (Sudarja, 2009).

Pengambilan data pada nilai kalor dilakukan dengan serbuk limbah kulit kopi dalam bentuk partikel (P) yang diuji kedalam *bomb colorimeter*.

3.6. Analisis Data

Data hasil pengamatan kemudian dianalisis menggunakan aplikasi *Microsoft Office Excel* yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Data penelitian kemudian dianalisis dengan aplikasi SAS University. Apabila pada tabel sidik ragam nilai F menunjukkan perbedaan signifikan, akan dilanjutkan dengan uji BNT (beda nyata terkecil).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Bahan

Karakteristik bahan baku limbah kulit kopi dalam pembuatan *biopellet* dapat diketahui dengan melakukan pengukuran dari beberapa parameter seperti tinggi rendahnya kadar air bahan, *bulk density* bahan, nilai kalor bahan, dan warna pada bahan. dari beberapa parameter tersebut dapat diketahui karakteristik bahan yang bisa digunakan dalam pembuatan *biopellet* limbah kulit kopi. untuk mengetahui karakteristik bahan *biopellet* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik bahan limbah kulit kopi

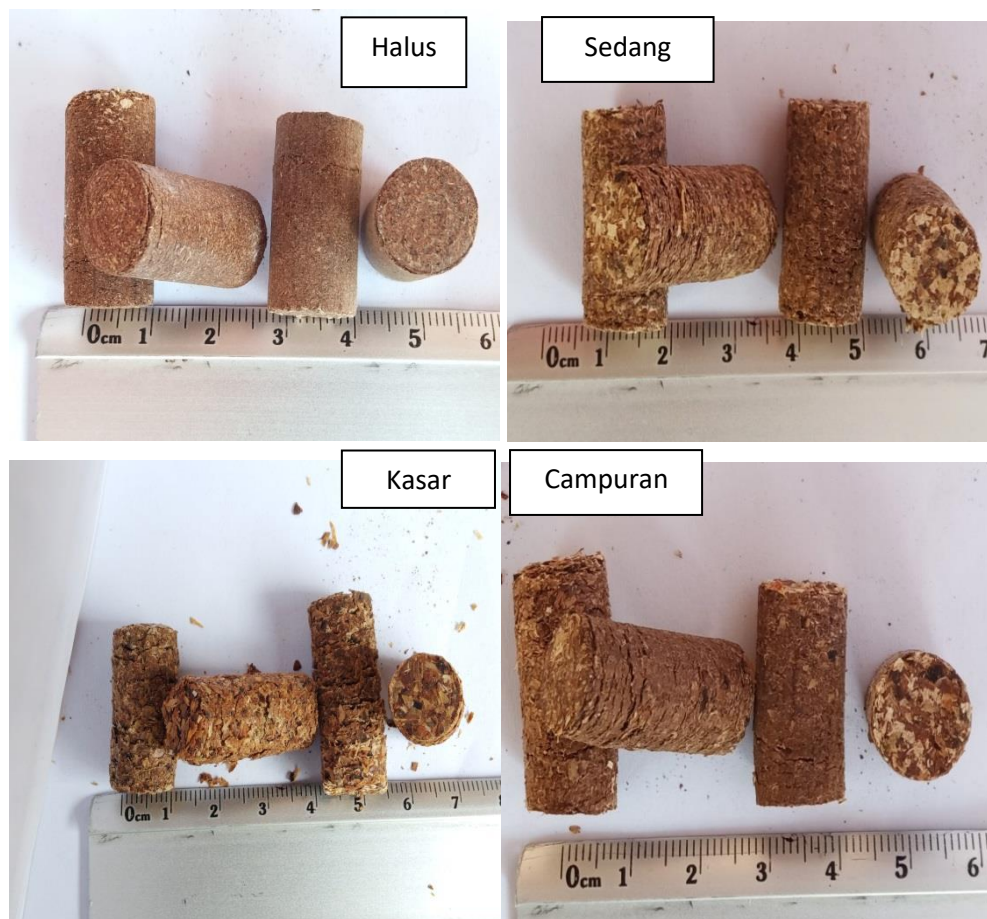
Karakteristik Bahan	Kadar Air	<i>bulk density</i>	Warna (ΔE^*)	Nilai Kalori
Halus	10 - 11%	0,60 g/cm ³	41,2	15,76 MJ/kg
Sedang		0,57 g/cm ³	44,7	
Kasar		0,55 g/cm ³	45,8	
Campuran		0,59 g/cm ³	43,9	

Berdasarkan tabel 2 hasil uji bahan limbah kulit kopi kadar air bahan sebesar 10-11%, kadar air yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor pembakaran begitu juga sebaliknya kadar air bahan rendah maka akan meningkatkan nilai kalor pembakaran. Kadar air bahan yang tinggi dapat menyebabkan *biopellet* susah menyala dan menyebabkan banyaknya asap pembakaran. Limbah kulit kopi memiliki *bulk density* sebesar 0,55 g/cm³-0,60 g/cm³. Proses densifikasi limbah kulit kopi diharapkan dapat meningkat nilai *bulk density* sehingga dapat

meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam proses transportasi dan penyimpanan. Limbah kulit kopi memiliki perubahan warna (ΔE^*) sebesar 41,2 – 45,8. Pengukuran bahan warna dilakukan untuk mengetahui besar perubahan warna *biopellet* yang diakibatkan karena pengaruh suhu panas saat berada didalam alat pencetak *pellet*. Limbah kulit kopi memiliki nilai kalor sebesar 15,76 MJ/kg. Tinggi rendahnya nilai kalor dipengaruhi oleh kadar air, semakin tinggi nilai kalor maka kadar air semakin sedikit dan juga kualitas bahan tersebut semakin baik, rendahnya nilai kalor maka kadar air yang berada didalam bahan sangat banyak dan juga kualitas kurang baik. Keberadaan nilai kalor yang tinggi sangat menguntungkan pada penggunaan bahan bakar, keuntungan nilai kalor yang tinggi yaitu menghemat penggunaan bahan baku karena laju pembakaran yang lebih efisien. Laju pembakaran yang lebih efisien terjadi karena nilai kalor yang semakin meningkat sehingga laju pembakaran menjadi lambat (Hanun 2014).

4.2. Kadar Air

Kandungan kadar air pada *pellet* sangat berpengaruh terhadap kualitas *pellet* yang berpengaruh pada kemudahan menyala, proses pembakaran, dan asap yang di hasilkan pada saat pembakaran (Rahman, 2011).



Gambar 6. Pellet yang di gunakan dalam pengujian kadar air.

Berdasarkan Gambar 6. *Pellet* yang digunakan yaitu *pellet* yang sudah di cetak dengan tekanan yang telah disesuaikan pada RAL sebagai acuan, dari empat jenis partikel yang berbeda didapat kadar air yang berbeda. Kandungan kadar air pada *pellet* limbah kulit kopi harus diketahui dan harus ada pada penelitian ini. Tinggi atau rendah kadar air pada *pellet* yang disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya pengeringan melalui penjemuran bahan yang dilakukan sebelum pencetakan *pellet* dan pada saat proses pencetakan dengan menggunakan alat kempa hidrolis. Kandungan air pada *pellet* biomasa yang rendah berdampak baik

terhadap kualitas *pellet*, semakin meningkat dan berpengaruh terhadap nilai kalor sehingga lebih mudah untuk dinyalakan (Hansen et al., 2009)

Tabel 3. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap kadar air *pellet*

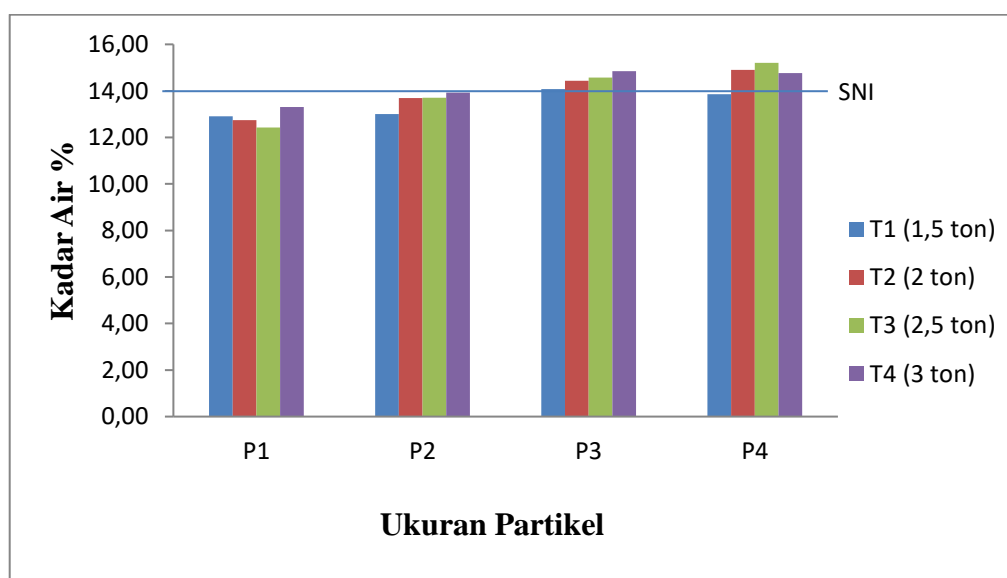
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Faktor 1 (ukuran partikel)	3	0,0040	0,0013	31,24	<.0001
Faktor 2 (tekanan)	3	0,0001	0,00002	0,48	0,6963
Faktor 1* faktor 2	9	0,0020	0,00022	5,21	0,0002

Berdasarkan tabel 3, data hasil uji anova, faktor ukuran partikel berbeda nyata pada taraf 0,05 dikarenakan ukuran partikel memberikan pengaruh kadar air pada *pellet* pada saat pencetakan *pellet*, menurut penelitian Zulfian et al.(2015), menyatakan bahwa nilai kadar air cenderung menurun dengan semakin halusya ukuran partikel. Faktor tekanan tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 dikarenakan tekanan menjadi salah satu faktor dalam pembuatan *pellet*. Interaksi faktor ukuran partikel dan faktor tekanan berbeda nyata pada taraf 0,05, selanjutnya dilakukan uji beda nyata terkecil (BNT) terhadap kadar air *pellet*.

Tabel 4. Uji beda nyata terkecil (BNT) pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap kadar air (%)

Ukuran Partikel	Tekanan			
	T1	T2	T3	T4
P1	0,1293 ef	0,1273 f	0,1383 cde	0,1330 def
P2	0,1413 bcd	0,1470 bc	0,1490 bc	0,1520 b
P3	0,1693 a	0,1673 a	0,1457 bc	0,1483 bc
P4	0,1387 cde	0,1490 bc	0,1520 b	0,1477 bc

Berdasarkan Tabel 4, uji beda nyata terkecil (BNT) pada ukuran partikel kasar dengan tekanan 1,5 ton (P3T1) merupakan nilai tertinggi. Perlakuan P3T1 tidak berbeda nyata dengan perlakuan P3T2 namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Maka dapat disimpulkan bahwa ukuran partikel dan tekanan mempengaruhi kadar air pada *biopellet* limbah kulit kopi. Berikut disajikan dalam grafik kadar air pada perlakuan.



Gambar 7. Diagram pengaruh perlakuan terhadap kadar air.

Berdasarkan Gambar 7. Kadar air *pellet* berkisar antara 12,43 % sampai 15,20 %. Kadar air terendah didapatkan dari *pellet* dengan ukuran partikel halus 35 mesh (P1) dengan tekanan 2,5 ton (T3) sebesar 12,43 % , kadar air tertinggi *pellet* dengan ukuran partikel campuran (P4) dengan tekanan 2,5 ton (T3) sebesar 15,20 %, kadar air rata-rata *pellet* limbah kulit kopi adalah 13,90 %, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kadar air pada *pellet* limbah kulit kopi memenuhi standar *pellet*, berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (BSN) dan SNI 8021-2014 dengan maksimum kadar air 14 %. Tinggi rendah kadar air pada *pellet* dapat di pengaruhi oleh beberapa faktor yaitu lamanya pengeringan bahan ketika akan dicetak dapat mengurangi kadar air pada bahan, kemudian tingginya suhu didalam alat pencetak pada saat *pellet* di kempa dengan tekanan yang tinggi dapat mengurangi kadar air pada *pellet*.

4.3. Massa Jenis

Massa jenis adalah besaran kerapatan suatu benda yang dinyatakan dalam berat benda per satuan volume pada benda tersebut. Massa jenis dapat membantu menerangkan benda yang berukuran sama besar memiliki bobot yang berbeda. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Nilai densitas adalah massa partikel yang menempati suatu unit volume tertentu (Gilang et al., 2013).

Tabel 5. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap masa jenis *pellet*

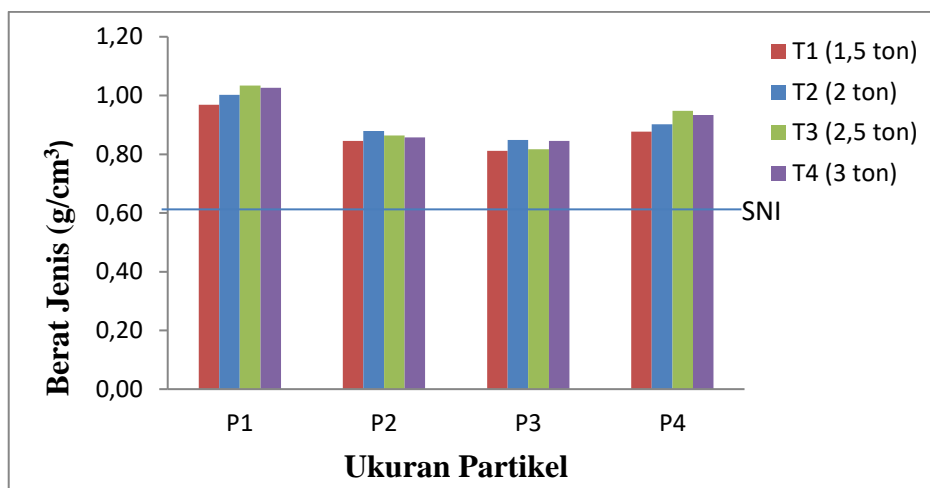
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Faktor 1 (ukuran partikel)	3	0,22172	0,07390	92,10	<.0001
Faktor 2 (tekanan)	3	0,01133	0,00377	4,71	0,0078
Faktor 1 * faktor 2	9	0,00871	0,00096	1,21	0,3251

Berdasarkan Tabel 5, hasil uji anova pengaruh ukuran partikel dan tekanan pada *pellet* limbah kulit kopi, menunjukkan nilai $Pr > F$ faktor ukuran partikel berbeda nyata pada taraf 0,05, dikarenakan ukuran bahan *pellet* memiliki kepadatan bahan yang berbeda pada saat pengepresan sehingga menyebabkan berat jenis tiap *pellet* berbeda. Faktor tekanan berbeda nyata pada taraf 0,05 dikarenakan tekanan memberikan kepadatan *pellet* yang berbeda saat pencetakan, semakin tinggi tekanan memberikan kepadatan *pellet* yang padat juga.

Tabel 6. Uji beda nyata terkecil (BNT) pengaruh ukuran partikel dan pengaruh tekanan terhadap massa jenis *pellet*

	P1	P2	P3	P4	Average
T1 (1,5 ton)	0,97	0,84	0,81	0,88	0,88 b
T2 (2 ton)	1,00	0,88	0,85	0,90	0,91 a
T3 (2,5 ton)	1,03	0,86	0,82	0,95	0,92 a
T4 (3 ton)	1,03	0,86	0,85	0,93	0,92 a
average	1,01 A	0,86 C	0,83 D	0,91 B	

Berdasarkan Tabel 6, uji beda nyata terkecil (BNT), perlakuan ukuran partikel P1 berbeda nyata dengan perlakuan P4, perlakuan P1 berbeda nyata dengan P2 dan P3, dengan nilai rata-rata tertinggi adalah P1 sebesar $1,01 \text{ g/cm}^3$ sedangkan pada perlakuan tekanan T4, T3, dan T2 berbeda nyata dengan T1, sedangkan T4, T3, dan T2 tidak berbeda nyata, dengan nilai rata – rata tertinggi adalah T4 sebesar $0,92 \text{ g/cm}^3$



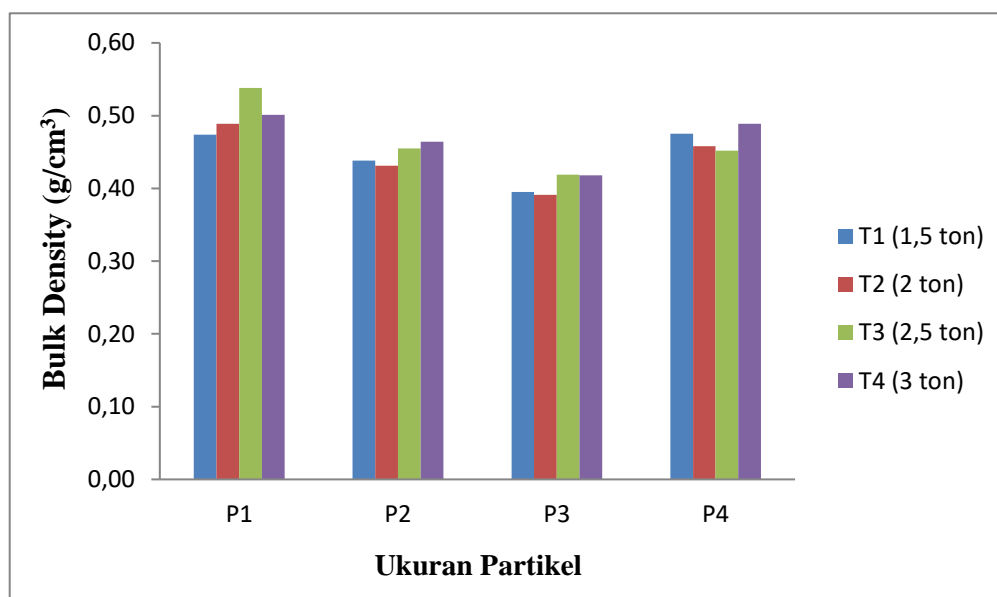
Gambar 8. Diagram pengaruh perlakuan terhadap massa jenis.

Berdasarkan Gambar 8. Pengukuran massa jenis dilakukan untuk mengetahui berapa besar massa jenis setiap volume pada *pellet* limbah kulit kopi, sehingga dapat diketahui perbedaan massa jenis pada masing-masing perlakuan yang diberikan dalam pembuatan *pellet* limbah kulit kopi. dalam pembuatan *pellet* ini menggunakan empat jenis ukuran partikel dan empat jenis tekanan, dapat di lihat pada grafik di atas berat jenis terendah pada ukuran partikel kasar (P3) dengan tekanan 1,5 ton (T1) memiliki berat jenis $0,81 \text{ g/cm}^3$ dan yang tertinggi pada ukuran partikel halus (P1) dengan tekanan 2,5 ton (T3) dan tekanan 3 ton (T4), memiliki berat jenis $1,03 \text{ g/cm}^3$. Berdasarkan standar nasional indonesia (SNI) *pellet* biomassa, massa jenis sudah memenuhi dengan minimal $0,6 \text{ g/cm}^3$. Proses pengepresan dengan tekanan yang tepat dapat memberikan kerapatan yang bagus pada *pellet* dan ukuran partikel yang tepat juga sangat memengaruhi kerapatan pada *pellet*, membuat struktur pada *pellet* dapat saling mengikat dengan kuat.

4.4. Massa Jenis Curah (*Bulk Density*)

Bulk density yang baik dapat di hasilkan dari proses densifikasi, dengan dilakukannya densifikasi dapat menghasilkan nilai densitas yang lebih besar pada limbah kulit kopi, dengan dilakukannya proses densifikasi dapat memberikan beberapa keuntungan seperti mengurangi tingginya biaya pengiriman, lebih efisien dalam penyimpanan dan mengurangi tingginya bahan baku tereduksi. *Bulk density* dapat dipengaruhi oleh kadar air, kadar air yang tepat dapat menjadikan

pellet bersifat lebih kompak (padat), kadar air yang optimal dapat menjadikan *pellet* menghasilkan nilai *bulk density* yang tinggi.



Gambar 9. Diagram pengaruh perlakuan terhadap *bulk density*.

Berdasarkan Gambar 9. Pengukuran *bulk density* tanpa ulangan dilakukan untuk mengetahui berat setiap volume pada *pellet* limbah kulit kopi, sehingga dapat diketahui perbedaan berat volume pada ukuran partikel per tekanan yang diberikan dalam pembuatan *pellet* limbah kulit kopi. Pada *bulk density* ukuran partikel halus memiliki berat volume dan kerapatan yang baik dibandingkan dengan ukuran partikel sedang, kasar, dan campuran.

4.5. Kekuatan *Pellet*

Uji kekuatan dilakukan untuk menentukan seberapa kuat *pellet* dari limbah kulit kopi apabila jatuh dari ketinggian tertentu. Uji kekuatan merupakan persentase bobot yang berkurang ketika *pellet* telah diuji. Pengujian dilakukan dengan *pellet* yang dijatuhkan dari ketinggian 1,5 meter. Berdasarkan data yang diperoleh setelah dilakukan pengujian terlihat berkurangnya bobot pada *pellet* setelah dijatuhkan.

Tabel 7. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap kekuatan *pellet*

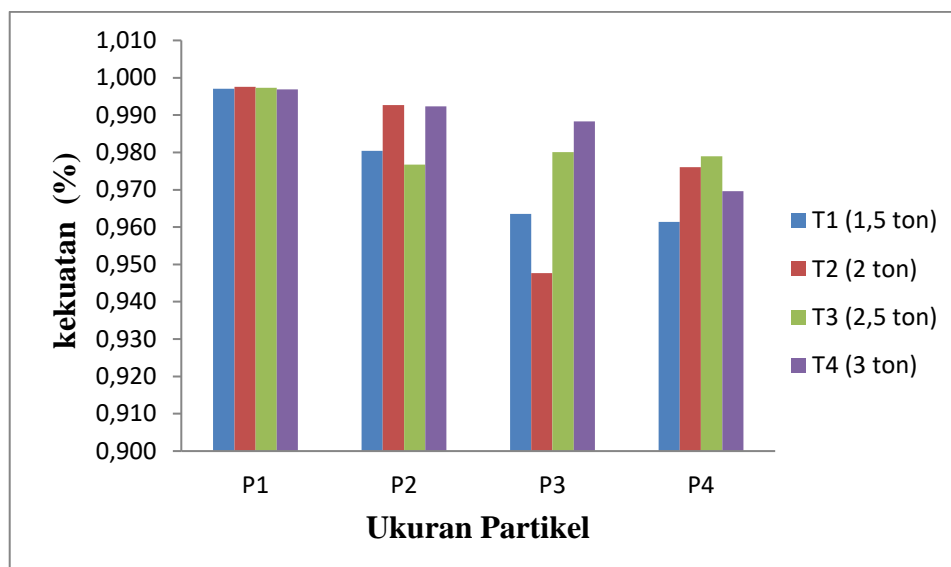
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Faktor 1(ukuran partikel)	3	0,00595	0,00198	14,15	<.0001
Faktor 2 (tekanan)	3	0,00088	0,00029	2,10	0,1199
Faktor 1 * faktor 2	9	0,00324	0,00036	2,57	0,0638

Berdasarkan Tabel 7, dari hasil uji anova menunjukkan bahwa ukuran partikel terhadap kekuatan *pellet* berbeda nyata pada taraf 0,05 oleh sebab itu dilakukan uji lanjut BNT. Berdasarkan data yang diperoleh nilai Pr>F faktor tekanan tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 dikarenakan tekanan menjadi salah satu faktor kekuatan *biopellet*. Faktor ukuran partikel berbeda nyata pada taraf 0,05 dikarenakan kandungan bahan *biopellet* memiliki komposisi yang berbeda-beda yang menyebabkan kekuatan *biopellet* juga berbeda.

Tabel 8. Uji beda nyata terkecil (BNT) pengaruh ukuran partikel terhadap kekuatan *pellet* (%)

	P1	P2	P3	P4
T1 (1,5 ton)	1,00	0,98	0,96	0,96
T2 (2 ton)	1,00	0,99	0,95	0,98
T3 (2,5 ton)	1,00	0,98	0,98	0,98
T4 (3 ton)	1,00	0,99	0,99	0,97
	0,9972 A	0,9856 B	0,9699 C	0,9715 C

Berdasarkan Tabel 8, uji beda nyata terkecil (BNT), perlakuan ukuran partikel P2, P3 dan P4 berbeda nyata dengan perlakuan P1 dengan nilai rata-rata tertinggi sebesar 0,9972, sedangkan ukuran partikel P2 berbeda nyata dengan ukuran partikel P3 dan P4 dengan nilai 0,9856, ukuran partikel P3 dan P4 dengan nilai 0,9699 dan 0,9715



Gambar 10. Diagram pengaruh perlakuan terhadap kekuatan pelet.

Berdasarkan Gambar 10. Uji kekuatan yang dilakukan pada *pellet* berbahan limbah kulit kopi didapatkan hasil hilangnya bobot *pellet* tertinggi pada ukuran partikel kasar (P3) dengan tekanan 1,5 ton (T2) sebesar 10 % sedangkan hilangnya bobot *pellet* terendah pada ukuran partikel halus (P1) dengan tekanan 2 ton (T2) sebesar 0,02 %. Pengurangan bobot *pellet* disebabkan jatuhnya *pellet* yang membentur lantai sehingga menyebabkan *pellet* rusak, terbagi menjadi dua bagian dan berubah menjadi serbuk. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa susut bobot terendah berada di perlakuan P1T2 sedangkan hilangnya susut bobot tertinggi berada di perlakuan P3T2, dengan demikian ukuran partikel dan tekanan sangat berpengaruh terhadap kekuatan *pellet*, Semakin halus ukuran partikel dan dengan menggunakan tekanan yang setara dapat membuat *pellet* lebih kuat dan memiliki kerapatan yang baik sehingga hilangnya bobot *pellet* sangat rendah.

4.6. Kadar Abu

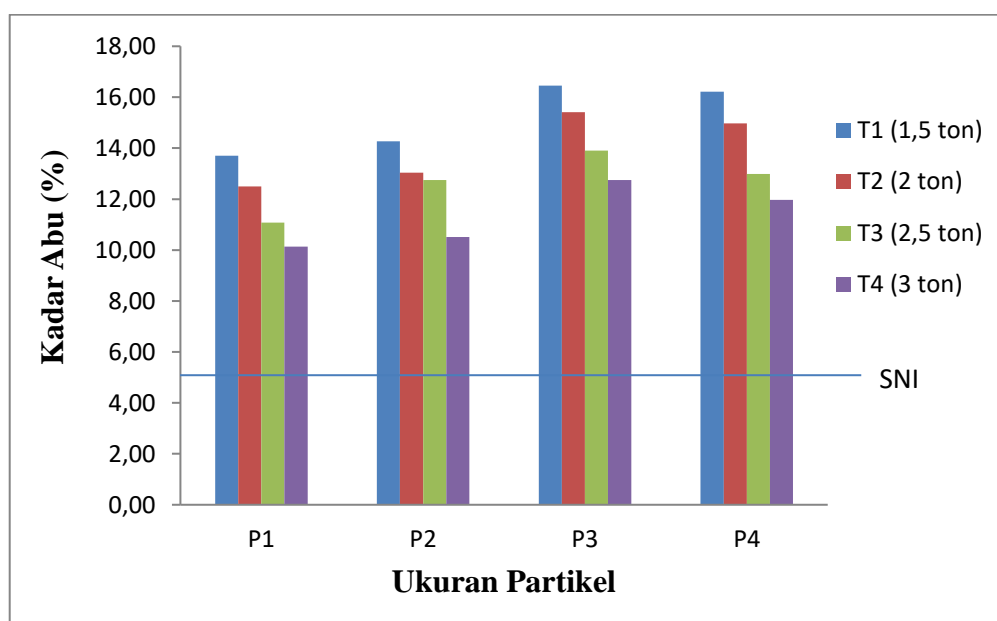
Kadar abu merupakan bahan sisa dari proses pembakaran yang sudah tidak memiliki nilai kalor sehingga *pellet* dari limbah kulit kopi tidak memiliki unsur karbon lagi (Nugrahaeni, 2008). Jumlah abu yang dihasilkan pada proses pembakaran dipengaruhi oleh jenis biomassa yang digunakan. Salah satu unsur penyusun abu adalah silika. Semakin tinggi kadar silika pada biomassa, maka abu

yang dihasilkan dari proses pembakaran akan semakin tinggi pula. Keberadaan abu juga dapat menurunkan efisiensi pembakaran karena abu merupakan komponen yang tidak menghasilkan energi (El Bassam dan Maegaard P, 2004).

Tabel 9. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap kadar abu *pellet*

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Faktor 1(ukuran partikel)	3	58,0732	19,3577	1,28	0,2970
Faktor 2 (tekanan)	3	97,8956	32,6318	2,16	0,1118
Faktor 1 * faktor 2	9	3,5197	0,3910	0,03	1,0000

Berdasarkan Tabel 9, data yang diperoleh nilai $Pr > F$ faktor ukuran partikel dan tekanan tidak berpengaruh nyata pada taraf 0,05 dikarenakan ukuran partikel dan tekanan menjadi salah satu faktor kadar abu *biopellet*. Ukuran partikel dan tekanan saling berkaitan, semakin halus ukuran partikel dan tinggi tekanan maka kadar abu yang dihasilkan semakin sedikit pada *pellet* limbah kulit kopi.



Gambar 11. Diagram pengaruh perlakuan terhadap kadar abu.

Berdasarkan Gambar 11. Uji kadar abu yang dilakukan pada *pellet* berbahan limbah kulit kopi didapatkan hasil kadar abu *pellet* tertinggi pada ukuran partikel campuran (P3) dengan tekanan 1,5 ton (T1) sebesar 16,46 % sedangkan hasil kadar abu *pellet* terendah pada ukuran partikel halus (P1) dengan tekanan 3 ton (T4) sebesar 10,14 %. Dari hasil pengujian kadar abu pada *pellet* limbah kulit kopi ini disimpulkan P3T1 memiliki kandungan penyusun silika sangat tinggi, sedangkan kadar abu pada *pellet* P1T4 memiliki kandungan penyusun silika sangat sedikit. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kadar abu pada *pellet* limbah kulit kopi belum memenuhi standar *pellet* SNI 8021-2014 dengan kadar abu maksimum 5 %, maka dari itu harus ada upaya untuk mengurangi kadar abu pada *pellet* limbah kulit kopi.

4.7. Analisis Warna

Analisis warna *pellet* limbah kulit kopi menggunakan *Colorimeter* AMT 506 menunjukkan bahwa nilai L (light / terang), a (merah / hijau), b (kuning / biru). Pengujian perubahan warna dilakukan dengan menggunakan sistem CIE-Lab dengan mengukur parameter warna kecerahan (L^*), kromatisasi [merah/hijau (a^*), dan kromatisasi kuning/biru (b^*). Perubahan warna secara keseluruhan (ΔE^*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 (B.M & Pereira, H.M, 2008).

Tabel 10. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap uji warna *pellet*

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Faktor 1 (ukuran partikel)	3	110,6621	36,8873	14,37	<.0001
Faktor 2 (tekanan)	3	34,3299	11,4433	4,46	0,0100
Faktor 1 * faktor 2	9	18,8634	2,0959	0,82	0,6053

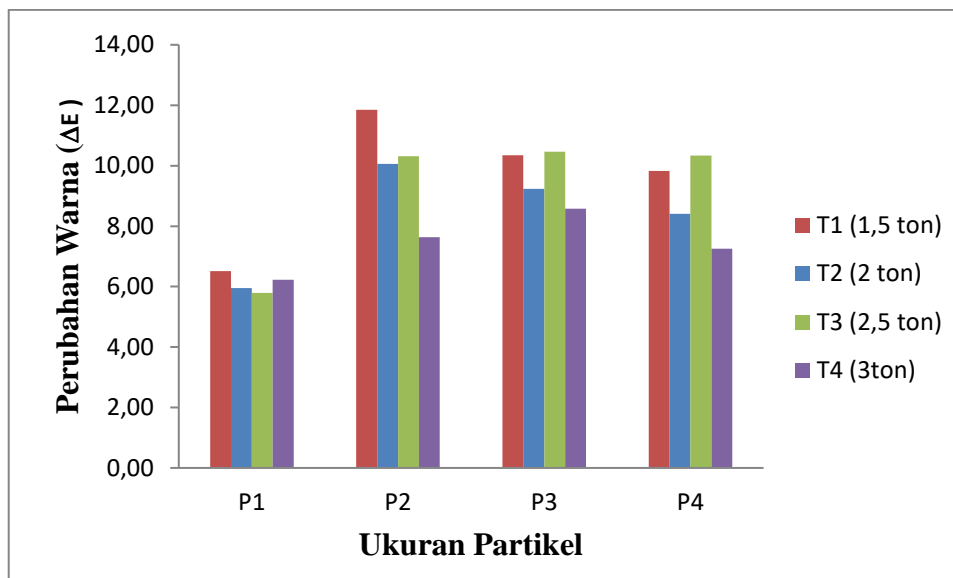
Berdasarkan Tabel 10, dari hasil uji anova menunjukkan bahwa ukuran partikel dan faktor tekanan terhadap analisis warna *pellet* biomassa berbeda nyata pada taraf 0,05 oleh sebab itu dilakukan uji lanjut BNT. Berdasarkan data yang

diperoleh nilai $P_{r>F}$ faktor ukuran partikel dan tekanan berpengaruh nyata pada taraf 0,05 dikarenakan ukuran partikel dan tekanan memberikan warna yang berbeda pada bahan *biopellet*. Pengaruh interaksi faktor ukuran partikel dan faktor variasi tekanan tidak berpengaruh nyata pada taraf 0,05. (Salca, E. A et al., 2016) yang menyatakan bahwa penurunan nilai L^* terjadi akibat adanya degradasi hemiselulosa selama pemberian perlakuan tekanan pada alat pres hidrolik dan menimbulkan panas sehingga mempengaruhi perubahan warna secara visual.

Tabel 11. Uji beda nyata terkecil (BNT) pengaruh ukuran partikel dan pengaruh tekanan terhadap warna *pellet*

	P1	P2	P3	P4	Average
T1 (1,5 ton)	6,51	11,84	10,35	9,82	9,63 a
T2 (2 ton)	5,95	10,05	9,23	8,41	8,41ab
T3 (2,5 ton)	5,79	10,32	10,47	10,33	9,23 a
T4 (3ton)	6,23	7,63	8,58	7,25	7,42 b
Average	6,12 B	9,96 A	9,66 A	8,95 A	

Berdasarkan Tabel 11, uji beda nyata terkecil (BNT), perlakuan ukuran partikel P2, P3 dan P4 berbeda nyata dengan perlakuan P1 dengan nilai rata-rata tertinggi sebesar 9,96. Sedangkan perlakuan tekanan T1, T3 dan T2 tidak ada beda nyata tetapi berbeda nyata pada perlakuan T4, dengan nilai rata-rata tertinggi adalah T1 sebesar 9,63.



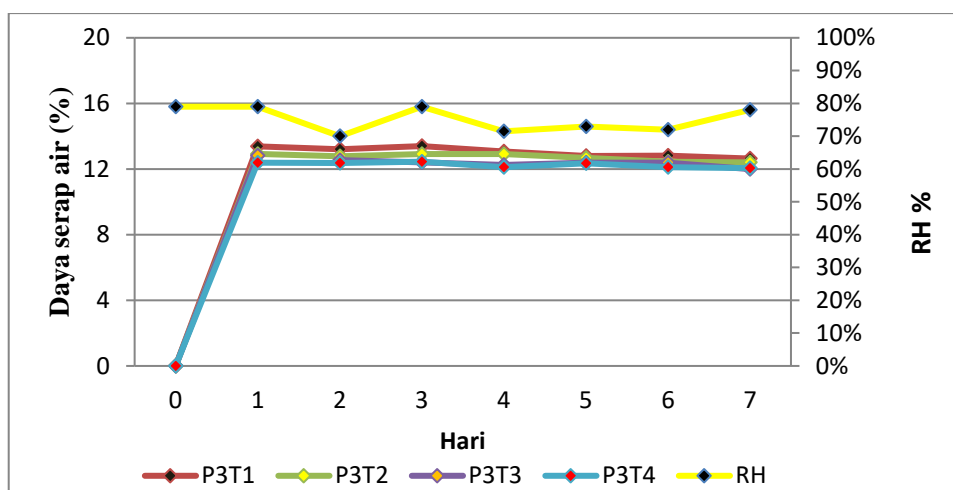
Gambar 12. Diagram pengaruh perlakuan terhadap analisis warna.

Berdasarkan Gambar 12. Warna merupakan salah satu indikator yang dapat menunjukkan kualitas produk *pellet* secara langsung. Perbedaan atau ketidakseragaman pada produk dapat mengindikasikan bahwa produk tersebut diproses dengan baik atau tidak. Analisis warna dilakukan untuk menunjukkan kualitas warna pada *pellet* limbah kulit kopi, berdasarkan warna-warna tertentu ketika warna tersebut diserap oleh sebuah benda. Dapat dilihat pada grafik di atas tingkat kecerahan paling tinggi didapatkan pada *pellet* dengan perlakuan sedang (P2) dengan tekanan 1,5 ton (T1) dengan nilai 11,84 dan untuk nilai kecerahan paling rendah didapatkan pada perlakuan Halus (P1) pada tekanan 2,5 ton (T3) dengan nilai 5,79.

4.8. Daya Serap Air

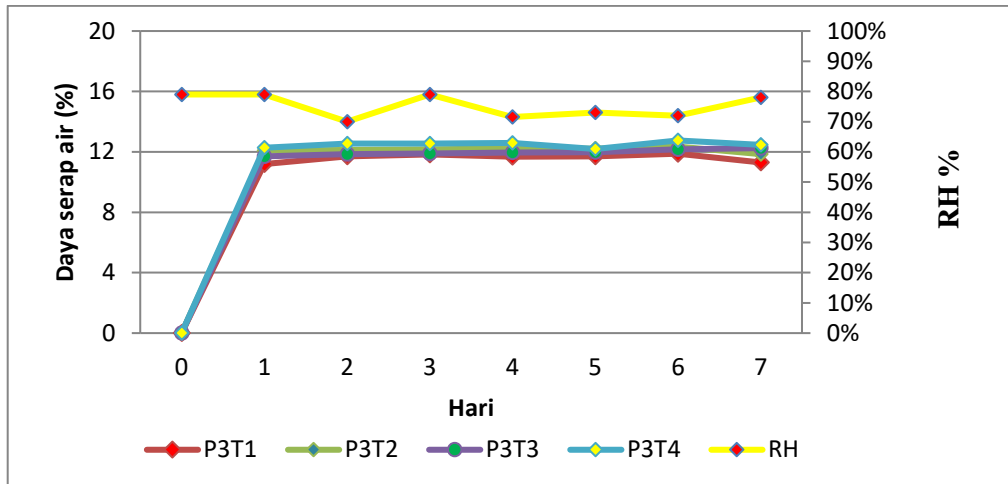
Daya serap air adalah kemampuan bahan dalam menyerap air (daya hisap). Daya serap air yang tinggi akan berpengaruh pada kualitas *biopellet* itu sendiri biasanya akan lebih mudah tumbuhnya jamur pada *biopellet*. Semakin besar daya serap air pada suatu *biopellet* maka akan semakin memengaruhi kualitas dan ketahanan pada *biopellet* tersebut. Nilai kerapatan dapat dipengaruhi oleh ukuran partikel pada *biopellet* yang terlalu besar dan tekanan pada saat pengempaan yang kurang maksimal. Ukuran partikel yang terlalu besar biasanya struktur *biopellet* yang

kurang padat yang memberi rongga pada *biopellet* dapat memudahkan penyerapan air. Analisis daya serap air dilakukan dengan membiarkan *biopellet* dalam ruang terbuka dan mengamati penambahan massanya secara berkala selama satu minggu. Bobot *biopellet* ditimbang setiap pukul 11:00 WIB perharinya selama 7 hari.



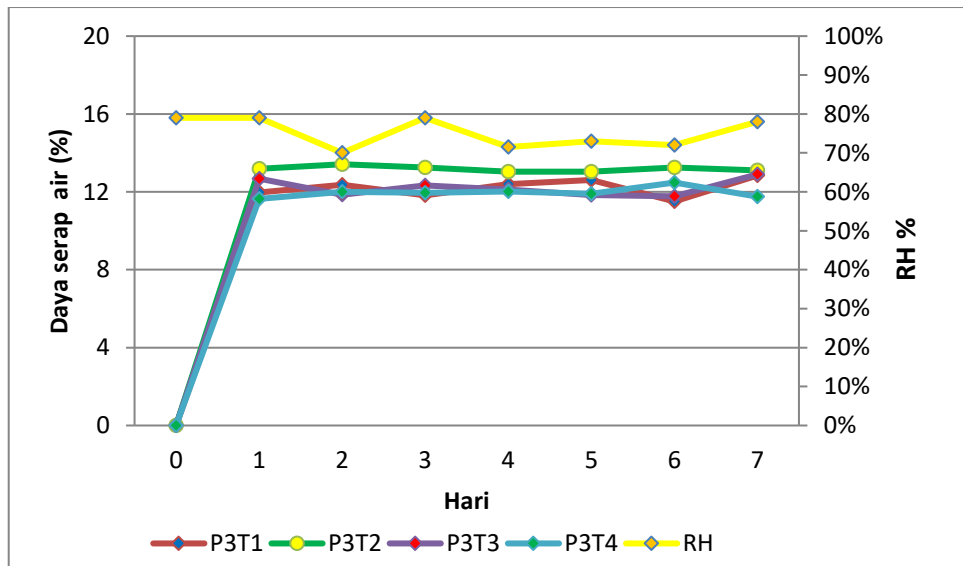
Gambar 13. Grafik daya serap air partikel halus pada semua perlakuan.

Gambar 13, menunjukkan grafik daya serap air *biopellet* partikel halus selama 7 hari. Pada hari ke-3 semua bobot *biopellet* menunjukkan kenaikan disemua tekanan dikarenakan pada hari itu kelembapan udara yang rendah sebesar 79 %. Sementara pada hari ke-5 bobot *biopellet* pada semua tekanan menunjukkan penurunan dikarenakan pada hari itu kelembapan udara sebesar 73 %. Selanjutnya bobot *biopellet* cenderung menunjukkan bobot yang stabil pada semua tekanan.



Gambar 14. Grafik daya serap air partikel sedang pada semua perlakuan.

Gambar 14, menunjukkan grafik daya serap air *biopellet* partikel sedang selama 7 hari. Pada hari 1-4 semua bobot *biopellet* menunjukkan stabil disemua tekanan walaupun pada hari itu kelembapan udara yang rendah sebesar 70 %. Sementara pada hari ke-6 bobot *biopellet* pada semua tekanan menunjukkan kenaikan, pada hari itu kelembapan udara sebesar 72 %. Selanjutnya bobot *biopellet* cenderung menunjukkan bobot yang stabil pada semua tekanan.

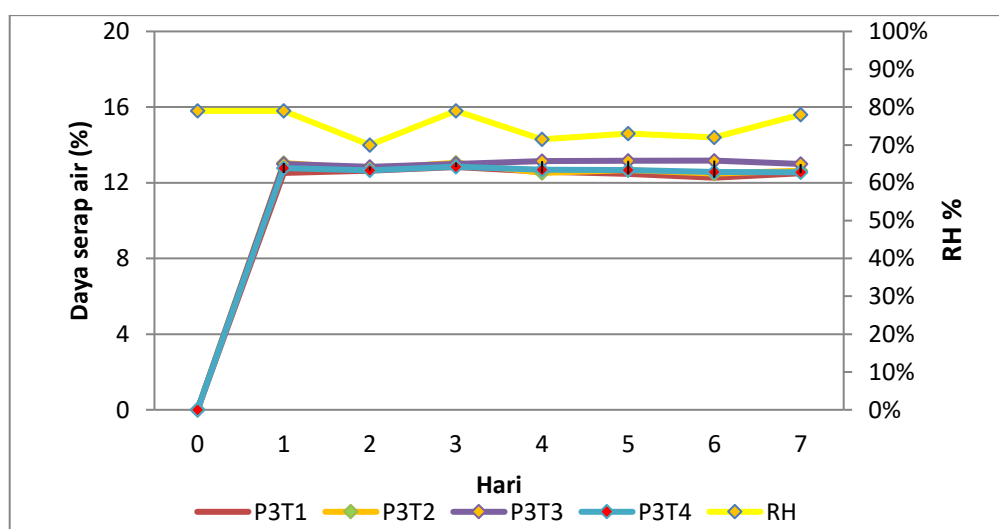


Gambar 15. Grafik daya serap air partikel kasar pada semua perlakuan.

Gambar 15, menunjukkan grafik daya serap air *biopellet* partikel kasar selama 7 hari. Pada hari ke-2 semua bobot *biopellet* menunjukkan kenaikan disemua tekanan dikarenakan pada hari itu kelembapan udara yang rendah sebesar 70 %.

Sementara pada hari ke-4 bobot *biopellet* pada semua tekanan menunjukkan kenaikan dikarenakan pada hari itu kelembapan udara sebesar 79 %. Selanjutnya bobot *biopellet* cenderung menunjukkan bobot yang stabil pada semua tekanan.

Ukuran partikel kasar menunjukkan bobot yang kurang stabil namun pada perlakuan P3T2 daya serap air berada diatas P3T1, P3T3 dan P3T4, maka perlakuan P3T2 akan sangat mudah di tumbuhi jamur dan kerapatan yang di hasilkan tidak baik.



Gambar 16. Grafik daya serap air partikel Campuran pada semua perlakuan.

Gambar 16, menunjukkan grafik daya serap air *biopellet* partikel sedang selama 7 hari. Pada hari 1-3 semua bobot *biopellet* menunjukkan stabil pada disemua tekanan dikarenakan pada hari itu kelembapan udara yang rendah sebesar 70 %, pada hari ke-4 bobot *biopellet* pada semua tekanan menunjukkan kenaikan dan penurunan dengan kelembapan udara sebesar 78 %,

Berdasarkan pembahasan daya serap air *biopellet* limbah kulit kopi, ukuran partikel dan tekanan memberikan pengaruh pada daya serap air, semakin halus ukuran partikel dan semakin besar tekanan yang di berikan maka daya serap yang dihasilkan semakin kecil. Kenaikan dan penurunan bobot *biopellet* dipengaruhi

oleh kelembapan udara pada hari pengukuran. Pada hari ke- 1 sampai hari ke- 9, apabila kelembapan udara rendah maka bobot *biopellet* akan naik. Pada hari selanjutnya kelembapan udara rendah maka bobot *biopellet* akan turun dan ketika kelembapan tinggi maka bobot *biopellet* akan mengalami kenaikan. Hal tersebut juga didukung pendapat (Santoso, 2007), tinggi rendahnya kelembapan udara di suatu tempat sangat bergantung pada beberapa faktor yaitu suhu, tekanan udara, pergerakan angin, kuantitas dan kualitas penyinaran, vegetasi, dan ketersediaan air disuatu tempat. *Biopellet* biomassa memiliki kekurangan seperti daya serap air yang tinggi sehingga tidak dapat disimpan lama (Syamsiro, 2016).

Tabel 12. Uji ANOVA pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap daya serap air *pellet*

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Faktor 1 (ukuran partikel)	3	2.5153	0.8384	2.25	0.1010
Faktor 2 (tekanan)	3	1.2962	0.4320	1.16	0.3396
Faktor 1 * faktor 2	9	5.9712	0.6634	1.78	0.1105

Berdasarkan Tabel 12, data yang diperoleh nilai $Pr > F$ faktor ukuran partikel dan tekanan tidak berpengaruh nyata pada taraf 0,05 dikarenakan daya serap air akan tetap masuk kedalam suatu bahan. Ukuran partikel dan tekanan saling berkaitan, semakin halus ukuran partikel dan tinggi tekanan, daya serap air yang dihisap akan tetap masuk. Setiap ukuran partikel memiliki pori-pori yang berbeda, semakin halus ukuran partikel maka daya serap air pada *pellet* akan semakin sedikit, sedangkan ukuran partikel kasar memiliki daya serap air yang tinggi dikarenakan pori-pori pada *pellet* tidak menyatu secara sempurna.

4.9. Nilai Kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi panas yang dihasilkan pada saat pembakaran yang dapat menentukan mutu bahan bakar, nilai kalor dilakukan untuk mengetahui mutu yang dikandung pada limbah kulit kopi. Bahan limbah kulit kopi ditimbang sebanyak 0,2285 gram, kemudian dimasukkan kedalam *bomb*

colorimetri dengan diberi oksigen sebanyak 25 bar, nilai kalor yang dihasilkan pada penelitian limbah kulit kopi sebesar 15,76 MJ/Kg.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai kalor pada *pellet* limbah kulit kopi belum memenuhi standar *pellet*, berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (BSN) dan SNI 8021-2018 dengan minimum nilai kalor sebesar 16,5 MJ/Kg.

Nilai kalor dapat dipengaruhi oleh jumlah bahan yang tidak mudah terbakar (abu) dan kadar air yang terkandung pada limbah kulit kopi.

dihasilkan akan sejalan (Rahman, 2011).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Limbah kulit kopi dapat dimanfaatkan menjadi biopellet bahan bakar alternatif.
2. Pengaruh ukuran partikel pada taraf ($\alpha > 5\%$) berpengaruh nyata terhadap kadar air, berat jenis, warna, dan kekuatan. Tetapi tidak berpengaruh nyata pada kadar abu *pellet*.
3. Pengaruh tekanan pada taraf ($\alpha > 5\%$) berpengaruh nyata terhadap berat jenis. Tetapi tidak berpengaruh nyata pada kadar air, kadar abu, warna, dan uji kekuatan *pellet*.
4. Pengaruh interaksi ukuran partikel dan tekanan pada taraf ($\alpha > 5\%$) berbeda nyata pada kadar air.
5. Sifat fisik yang dihasilkan pada *pellet* limbah kulit kopi yaitu pada ukuran partikel halus dan campuran memiliki sifat kuat, tidak mudah patah dan tahan lama. Sedangkan pada ukuran partikel sedang dan kasar memiliki sifat mudah patah, remah, dan bentuk yang dihasilkan tidak menyatu dengan baik.
6. Nilai kalor yang dihasilkan pada *pellet* limbah kulit kopi sebesar 15,76 MJ/Kg.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan sehubungan dengan penelitian tentang pembuatan *pellet* dari limbah kulit kopi ini adalah :

1. Diharapkan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan parameter untuk memperoleh hasil yang optimal untuk meningkatkan sifat fisik, kimia, dan mekanik *pellet*
2. Saat melakukan proses pengujian tahap demi tahapannya harus dicermati, lakukan penakaran bahan dalam pembuatan *pellet* dengan tepat dan lakukan pengujian sesegera mungkin ketika *pellet* sudah jadi jangan membiarkan *pellet* terlalu lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Baud, I.S.A., Post, J. & Furedy, C. 2006. Solid Waste management and recycling actors, partnerships and policies in Hyderabad.
- Bhattacharya, S.C. 1998. Appropriate biomass energy technologies: issues and problems. *Asian Productivity Organization (APO)*.
- B.M, E. & Pereira, H.M. 2008. Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, : 370-404.
- Bonechi, C. 2014. *Bioenergy Systems for the Future*. Italy.: University of Siena, Siena.
- Bressani, R. 1979. Potential uses of coffee berry by products. *J.E. Braham & R. Bressani. Coffee Pulp, Composition, Technology and Utilization. International Development Research Centre, Ottawa: 17-24.*
- El Bassam & Maegaard P. 2004. *Integrated renewable energy on rural communities, planning guidelines, technologies and applications*. Amsterdam.: Elsevier.
- Fisafarani. 2010. *Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa dan Potensi Bio-pelet di Indonesia*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Fisafarini, H. 2010. *Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa Dan Potensi Bio-Pellet Di Indonesia*. skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Gilang, R., Affandi, D. R., & Ishartani, D. 2013. Karakteristik Fisik dan Kimia Tepung Koro Pedang (*Canavalia ensiformis*) dengan Variasi Perlakuan. *Jurnal Teknosains Pangan: 34-42.*
- Ginting.P. 2005. *Sistem Pengolahan Lingkungan Dan Limbah Industri*. Bandung: Yarma Widya.
- Hansen, M.T., Jein, A.R., Hayes, S. & Bateman, P. 2009. *English handbook for wood pellet combustion. Europe*. National Energy Foundation.
- Hendroko, R. 2007. *Energi Biomassa*. Jakarta: Penebar Swadaya.

- Karkania, E, Fanara & A.Zabaniotou. 2012. "Review of sustainable biomass pellets production—a study for agricultural residues pellets' market in Greece,". , vol.16: 1426–1436.
- Kusnandar, F. 2010. *Mengenal Serat Pangan. Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan*. Bogor: IPB.
- Lynd, L.R., Weimer, P.J., Van, W.H. & Pretorius, I.S. 2002. Microbial Cellulosa Utilization: Fundamentals and Biotechnology. *J. of int Microbiology and Molecular Biology: Reviews* 66:506-577.
- Nugrahaeni, J. I. 2008. Pemanfaatan Limbah Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) untuk Bahan Pembuatan Briket sebagai Bahan Bakar Alternatif.
- Pellerano, A. 2011.). Influence of Process Parameters and Biomass Characteristics on The Durability of Pellets from The Pruning Residues of *Olea europaea*. *Journal Biomassa and Bioenergy*, 35 (1): 402–410.
- Prawirodigdo, S., Tati Herawati & B.Utomo. 2005. *Pemanfaatan kulit kopi sebagai komponen pakan seimbang untuk penggemukan ternak domba*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner.
- Prihandana, R. 2007. *Energi Hijau*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Pusat Data Dan Sistem Informasi Pertanian. 2016. Pusat Data Dan Sistem Informasi Pertanian.
- Rahman. 2011. *uji keragaman Biopellet dari Biomassa Limbah Sekam Padi (Oryza Sativa sp.) sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan*. Institut Pertanian Bogor.
- Salca, E. A, Kobori, H, Inagaki, T, Kojima, Y & Suzuki, S. 2016. Effect of Heat Treatment on Colour Changes of Black Alder and Beech Veneers. *Jurnal Wood Science*, 62(4): 297-304.
- Santoso. 2007. *Kelembaban Udara*. Jakarta: Erlangga.
- Saptoadi, H. 2006. The Best Biobriquette Dimension and its Particle Size. The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006). *Bangkok*.
- saputro, D., W, W., W, R. & Faujun. 2012. Karakterisasi Briket dari limbah pengolahan kayu sengon dengan metode cetak panas. *seminar nasional aplikasi sains teknologi periode III IST AKPRIND*.
- Standarisasi Nasional Indonesia. 2018. Pelet biomassa untuk energi. (SNI 8675-2018). *Badan Standardisasi Nasional*.

- Sudarja. 2009. Analisis Rekayasa dan Karakteristik Briket Bahan Bakar dari Limbah Serat Kenaf. , 12(1): 101-106.
- Suparjo. 2008. *Degradasi Komponen Lignoselulosa oleh Kapang Pelapuk Putih. Jajo 66. Analisis Secara Kimiawi*. Jambi: Fakultas Peternakan. Jambi.
- Supriyanto & Merry. 2010. Studi Kasus Energi Alternatif Briket Sampah Lingkungan Kampus Polban Bandung. *Seminar Nasional Teknik Kimia*.
- Suwarto & Octavianty, Y. 2010. *Budidaya 12 Tanaman Perkebunan Unggulan*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Suyoko, M., Ridhuan, K. & Dharma, U.S. 2020. Karakteristik biopellet tempurung kelapa dan serbuk kayu sebagai bahan bakar alternatif. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 1(1): 8–16.
- Syamsiro, M. 2016. Peningkatan kualitas bahan bakar padat biomassa dengan proses densifikasi dan torefaksi. *Jurnal Mekanika Sistem Termal*. 1(1): 7-13.
- Syamsiro, M. 2016. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa dengan Proses Densifikasi dan Torrefaksi. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, 1(1): 7–13.
- Tillman, A.D., Hartadi, H., Reksohadiprodjo, S., Prawirokusumo, S. & Lebdoesoekojo, S. 1989. *Ilmu Makanan Ternak Dasar*. Yogyakarta: Gajah Mada University.
- Tumuluru, J., S, S., S, L. & Melins, S. 2010. Quality of wood pellets produced in british columbia for eport. *Applied Engineering in Agriculture*, 26(6): 1013–1020.
- Widyotomo, S. 2010. Evaluasi Kinerja Mesin Pengupas Kulit Buah Kopi Basah Tipe Silinder Horisontal. *Jurnal Enjiniring Pertanian*: vol 8, 27-38.
- Widyotomo, S. 2012. Potensi Dan Teknologi Diversifikasi Limbah Kopi Menjadi Produk Bermutu Dan Bernilai Tambah. *Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. PB. Sudirman No. 90, Jember, Indonesia Penelitian Kopi dan Kakao: Penelitian Kopi dan Kakao* 1 (1) 2013, 63,68.
- Winaya, I.N.S. & Susila, I.B.A.D. 2010. Co-Firing Sistem Fluidized Bed Berbahan Bakar Batubara dan Ampas Tebu. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*.
- Yamada, K., M., Kanada, Q., Wang, K., Sakamoto, I., Uchiyama, T., Mizoguchi & Y. Zhou. 2005. *Utility of Coal-Biomass Briquette for Remediation of Indoor Air Pollution Caused*. China: Coal Burning in Rural Area, Indoor Air 2005-367.
- Zam, H., Syahidah & Putranto, B. 2011. *Karakteristik Pellet Kayu Gmelina*. Fakultas Kehutanan: Universitas Hasanudin Makassar.

Zulfian, Diba, F, setyawaty, D, Nurhaida & Roslinda, E. 2015. Kualitas biopelet dari limbah batang kelapa sawit pada berbagai ukuran serbuk dan jenis perekat. *Jurnal Hutan Lestari*: 3(2), 208–216.