

**PENGARUH DURASI PENEKANAN DAN UKURAN PARTIKEL
TERHADAP KUALITAS PELET SERBUK GERGAJI**

(Skripsi)

Oleh

**Fajar Agustus Simanjuntak
1614071065**



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENGARUH DURASI PENEKANAN DAN UKURAN PARTIKEL TERHADAP KUALITAS PELET SERBUK GERGAJI

Oleh

Fajar Agustus Simanjuntak

Kayu merupakan salah satu sumber energi yang seharusnya, menggantikan bahan bakar minyak bumi, namun jika kayu digunakan secara langsung sebagai bahan bakar memiliki sifat yang kurang baik seperti kandungan energi yang tinggi, kadar air tinggi, asap, abu tinggi dan nilai kalor yang rendah. Bahan bakar kayu yang biasa digunakan langsung adalah sebetan dan serbuk gergaji. Selama ini, industri perindustrian telah melakukan tindakan terhadap limbah industri dengan cara membakarnya. Tujuan pembuatan pelet adalah untuk mengetahui kualitas pelet dari serbuk gergaji dan mengkonsentrasikan energi biomassa, menjadi partikel dengan kepadatan tinggi dengan berbagai bentuk dan ukuran serta untuk memudahkan proses penyimpanan dan pengangkutan.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan dua faktor yaitu, variasi durasi penekanan 60 detik (1 menit), 120 detik (2 menit), 180 detik (3 menit) dan 240 detik (4 menit). Serta menggunakan variasi ukuran partikel seperti 40 mesh (halus), 30 mesh (sedang), 20 mesh (kasar) dan campuran ukuran partikel 40, 30, 20 mesh (campuran). Bahan baku yang digunakan, adalah serbuk gergaji yang diambil dari industri Kurnia Meubel yang kemudian dipisah dan dimasukkan kedalam wadah plastik. Serbuk gergaji lalu dikeringkan dibawah sinar matahari hingga kering, kemudian diayak menggunakan ayakan dengan masing-masing ukuran yang berbeda (lolosan ayakan). Ayakan yang digunakan ada sebanyak tiga jenis dengan ukuran 0,400 mm (40 mesh), 0,595 mm (30 mesh) dan 0,841 mm (20 mesh). Bahan tersebut kemudian ditimbang, dengan massa 3 gram dan dicetak dalam cetakan besi padat (die mould), dengan diameter lubang 12 mm dan panjang lubang 7 cm. Serbuk gergaji dimasukkan ke dalam cetakan dan dipadatkan, kemudian ditekan dengan dongkrak hidrolis dengan tekanan 2 ton (172 Mpa).

Analisis digunakan untuk mendapatkan data massa jenis, kadar air, daya serap air, kekuatan pelet, warna pelet, kadar abu dan ketahanan pelet. Setiap percobaan dilakukan dengan tiga kali ulangan. Pelet yang dihasilkan diuji kekuatan dengan uji jatuh dari ketinggian 1,5m untuk mendapatkan indeks ketahanan pelet.

Serta pelet yang dihasilkan diuji ketahanan, dengan pelet dimasukkan kedalam sebuah botol lalu diuji dengan menggunakan mesin bor duduk, untuk mendapatkan indeks ketahanan pelet. Hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa durasi penekanan dan ukuran partikel mempengaruhi kualitas pelet. Pelet biomassa dari serbuk gergaji memiliki nilai massa jenis $0,691 \text{ g/cm}^3$ - $0,916 \text{ g/cm}^3$, kadar air 8,19% – 12,15%, daya serap air 5,92% – 10,54%, kekuatan pelet 99,4% – 99,66%, total perubahan warna 31,05 – 34,97 ΔE^* , kadar abu 0,771%– 2,580% dan ketahanan pelet 38,89% - 63,33%.

Kata Kunci : Serbuk Gergaji, Biomassa, Durasi Penekanan, Ukuran Partikel, Pelet.

ABSTRACT

EFFECT OF PRESSING DURATION AND PARTICLE SIZE ON THE QUALITY OF SAWDUST PELLETS

Oleh

Fajar Agustus Simanjuntak

Wood is one of the energy sources that should replace petroleum fuel, but if wood is used directly as fuel it has unfavorable properties such as high energy content, high moisture content, smoke, high ash and low calorific value. Wood fuel that is commonly used directly is cebetan and sawdust. So far, the woodworking industry has taken action against industrial waste by burning it. The purpose of making pellets is to determine the quality of pellets from sawdust and to concentrate biomass energy into high density particles of various shapes and sizes as well as to facilitate processing, storage and transportation.

The study was conducted using two factors, namely variations in the duration of suppression of 60 seconds (1 minute), 120 seconds (2 minutes), 180 seconds (3 minutes) and 240 seconds (4 minutes). As well as using variations in particle sizes such as 40 mesh (fine), 30 mesh (medium), 20 mesh (coarse) and a mixture of 40, 30, 20 mesh (mixed) particle sizes. The raw material used is sawdust taken from the Kurnia Furniture industry which is then separated and put into a plastic container. The sawdust is then dried in the sun to dry and then sieved using a sieve of each different size (pass sieve). There are three types of sieves used with sizes 0,400 mm (40 mesh), 0,595 mm (30 mesh) and 0,841 mm (20 mesh). The material is then weighed with a mass of 3 grams and printed in a solid iron mold (die mold) with a hole diameter of 12 mm and a hole length of 7 cm. Sawdust is fed into the mold and compacted, then pressed with a hydraulic jack with a pressure of 2 tons (172 Mpa).

The analysis was used to obtain data on density, moisture content, water absorption, pellet strength, pellet color, ash content and pellet resistance. Each experiment was carried out with three replications. The resulting pellets were tested for strength with a drop test from a height of 1,5m to obtain a pellet resistance index. As well as the resulting pellets were tested for durability by putting the pellets into a bottle and then tested using a sitting drill machine to get the pellet resistance index. The results of this study indicate that the duration of pressing and particle size affect the quality of the pellets. Biomass pellets from

sawdust have a density value of 0,691 g/cm³ – 0,916 g/cm³, moisture content 8,19% – 12,15%, water absorption capacity 5,92% – 10,54%, pellet strength 99,41% – 99,66%, total color change 31,05 – 34,97 ΔE^* , ash content 0,771% - 2,580% and pellet resistance 38,89% – 63,33%.

Keywords: Sawdust, Biomass, Pressurization Duration, Particle Size, Pellets.

**PENGARUH DURASI PENEKANAN DAN UKURAN PARTIKEL
TERHADAP KUALITAS PELET SERBUK GERGAJI**

Oleh

Fajar Agustus Simanjuntak

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **PENGARUH DURASI PENEKANAN DAN UKURAN
PARTIKEL TERHADAP KUALITAS PELET SERBUK
GERGAJI**

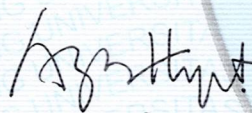
Nama : **Fajar Agustus Simanjuntak**


NPM : **1614071065**

Jurusan : **Teknik Pertanian**

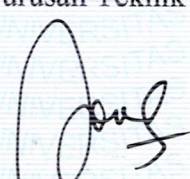
Fakultas **Pertanian**




Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP. 196505271993031002


Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.
NIP. 199002262019031012

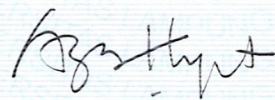
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian


Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 196210101989021002

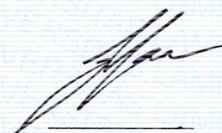
MENGESAHKAN

Tim Penguji

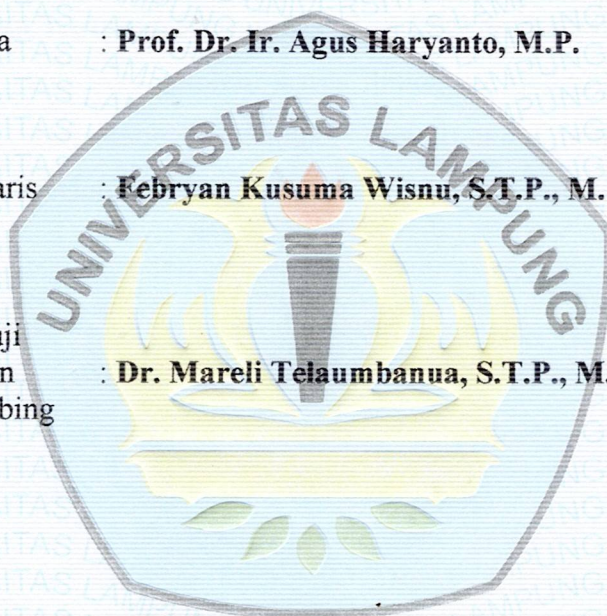

Ketua : **Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



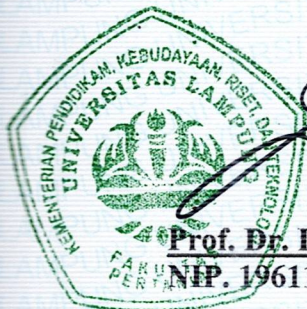
Sekretaris : **Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M. Sc.**

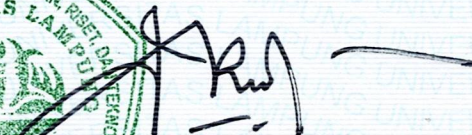


Penguji
Bukan
Pembimbing : **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.**



2 Dekan Fakultas Pertanian




Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **09 Agustus 2022**

PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya **Fajar Agustus Simanjuntak** NPM **1614071065** Dengan ini saya menyatakan bahwa apa yang ditulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya dibawah bimbingan Komisi Pembimbing, 1) **Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.** dan 2) **Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang saya peroleh. Karya ilmiah ini meliputi hasil belajar sendiri dan referensi dari beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dimaknai. Jika di kemudian hari ada kecurangan dalam pekerjaan ini, maka saya siap bertanggung jawab.

Bandar Lampung, 09 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan



Fajar Agustus Simanjuntak
NPM. 1614071065

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Pangkalan Dodek, Kecamatan Medang Deras, Kabupaten Asahan, Provinsi Sumatera Utara pada tanggal 1 Agustus 1997, anak ketiga dari pasangan Bapak Effendi Simanjuntak dan Ibu Hotnaria Jojor br.Siregar. Penulis menempuh pendidikan SDN 013866 di Desa Sei Buah Keras Kecamatan Medang Deras dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2010. Penulis lulus dari SMP Kristen

SWATA Kota Pagurawan pada tahun 2013. Penulis melanjutkan pendidikan SMA tahun 2013 di SMA Negeri 1 Medang Seras Kabupaten Batubara sampai dengan tahun 2016. Penulis mendaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Pertanian Universitas Lampung melalui jalur seleksi melalui undangan (SNMPTN).

Penulis juga aktif pada organisasi tingkat jurusan, yaitu sebagai anggota bidang DANUS (Dana dan Usaha) PERMATEP pada tahun 2017-2018. Dan juga aktif pada Organisasi Pelayanan Mahasiswa Pertanian (POMPERTA) pada tahun 2017 sampai 2019. Penulis melaksanakan Pratik Umum (PU) di Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna (PPTTG) LIPI Subang, Provinsi Jawa Barat selama 30 hari mulai tanggal 01 Juli sampai dengan 02 Agustus 2019. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gedung Mulya, Kecamatan Tanjung Raya, Kabupaten Mesuji selama 40 hari mulai tanggal 2 Januari 2020 sampai dengan 10 Februari 2020

Persembahan

Segala Puji Syukur Kepada Tuhan Yesus Kristus atas Kesehatan, Kekuatan serta Kemudahan, dan kasih-nya yang tak berkesudahan bagi saya.

Kupersembahkan Karya Kecilku ini kepada :

Kedua Orang Tuaku yang selalu memberikan doa, nasehat, semangat, dan kasih sayang dan pengorbanan yang tak tergantikan. Dan saya persembahkan untuk ketiga saudara saya yang telah memberikan doa dan semangat kepada saya serta kakak ipar saya yang membantu saya secara financial.

Serta

**“Kepada Almamater Tercinta”
Teknik Pertanian Universitas Lampung
Adhirajasa Gadjahsora 2016**

SANCAWANA

Puji syukur atas nikmat dan kasih sayang Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa tercurah, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berupa skripsi dengan judul **“PENGARUH DURASI PENEKANAN DAN UKURAN PARTIKEL TERHADAP KUALITAS PELET SERBUK GERGAJI”**. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) dari Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kendala dan kekurangan dalam penulisan skripsi dan pelajaran yang dapat dipetik. Berkat doa, semangat dan motivasi yang tulus dari orang tua dan berbagai tempat, penulis dapat menyelesaikan tugas ini dengan baik. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Pembimbing Akademik dan pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, dan arahan dalam penyelesaian tugas ini serta memotivasi terciptanya skripsi ini.
4. Bapak Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc., Selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, saran, dan kritiknya selama penyelesaian tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc., selaku pembahas yang telah memberikan waktu, bimbingan dan saran sebagai perbaikan skripsi ini.
6. Bapak dan mama yang memberiku doa, dukungan, motivasi, moral dan financial kepada penulis;

7. Brother Baktiar, Kak Onyma, dan Brother Alex yang selalu mendukung dan membrikan bantuan berupa financial kepada penulis dan untuk brother Markus yang memberikan semangat untuk penulis;
8. Kelompok Pratik Umum Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna (PPTTG) LIPI (Fadjri, Fitni, Ridho, dan Yudha).
9. Keluarga besar Teknik Pertanian Univeristas Lampung, terkhusus angkatan 2016 (Adhirajasa Gajahsora) atas segala bantuan, dukungan, semangat dan motivasi.

Penulis menyadari bahwa penulisan karya ini masih memiliki banyak kekurangan. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung,
Penulis,

2022

Fajar Agustus Simanjuntak

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
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.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pengolahan Limbah Kayu	5
2.1.1. Pengolahan Industri Kayu Bulat	6
2.1.2. Pengolahan Industri Kayu Mebel.....	7
2.1.3. Pengolahan Industri Kayu Lapis	8
2.1.4. Pengolahan Industri Kayu Pengergajian	9
2.2. Potensi Limbah Kayu	10
2.2.1. Potensi Industri Kayu Bulat	10
2.2.2. Potensi Industri Kayu Mebel.....	10
2.2.3. Potensi Industri Kayu Lapis	11
2.2.4. Potensi Industri Kayu Pengergajian	11
2.3. Karakteristik Limbah Kayu	11
2.3.1. Sabetan	12
2.3.2. Potongan Ujung.....	12
2.3.3. Serbuk Gergaji	13
2.4. Pemanfaatan Limbah Kayu	14
2.4.1. Arang Aktif	14
2.4.2. Briket Arang	15
2.4.3. Pembuatan Baglog	15
2.4.4. Papan Komposit	16
2.5. Karakteristik Pelet.....	17
2.5.1. Tekanan Pelet	18
2.5.2. Lama Durasi Penekanan.....	18
2.5.3. Pengaruh Ukuran Partikel Pelet	18
2.5.4. Pengaruh Kadar Air.....	19

III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	20
3.2.1. Alat Penelitian	20
3.2.2. Bahan Penelitian	22
3.3. Rancangan Percobaan	22
3.4. Pelaksanaan Penelitian	24
3.5. Pembuatan Pelet	25
3.5.1. Persiapan Bahan Baku	25
3.5.2. Pengayakan	25
3.5.3. Penimbangan	25
3.5.4. Pencetakan Pelet	26
3.5.5. Pengujian Pelet	26
3.6. Parameter Pengujian	26
3.6.1. Massa Jenis	26
3.6.2. Kadar Air	27
3.6.3. Daya Serap Air	27
3.6.4. Kekuatan Pelet	28
3.6.5. Uji Warna	28
3.6.6. Kadar Abu	29
3.6.7. Ketahanan Getar	29
3.7. Analisis Data	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Karakteristik Bahan	31
4.2. Karakteristik Pelet Kayu	33
4.2.1. Massa Jenis	35
4.2.2. Kadar Air	37
4.2.3. Daya Serap Air	39
4.2.4. Kekuatan Pelet	45
4.2.5. Uji Warna	47
4.2.6. Kadar Abu	49
4.2.7. Ketahanan Getar	52
V. KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	60

DAFTAR TABEL

Halaman

1. Persentase produksi dan limbah masing-masing jenis.....	6
2. Produk hasil pengolahan pada sawmill PT. Berau Karya Indah.....	7
3. Perkiraan Rata-rata Limbah Mebel di Jepara.....	8
4. Jenis Limbah Kayu Lapis.....	9
5. Jenis Limbah Pengergajian	10
6. Karakteristik Pelet.....	17
7. Kombinasi Perlakuan	23
8. Karakteristik Bahan Serbuk Gergaji	31
9. Hasil Uji Anova Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Massa Jenis Pelet	36
10. Hasil Uji BNT Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Massa Jenis Pelet	37
11. Hasil Uji Anova Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Kadar Air Pelet	39
12. Hasil Uji Anova Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Daya Serap Air Pelet.....	44
13. Hasil Uji BNT Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Daya Serap Air Pelet.....	44
14. Hasil Uji Anova Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Kekuatan Pelet	47
15. Hasil Uji Anova Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Uji Warna Pelet.....	48
16. Hasil Uji BNT Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Uji Warna Pelet.....	49
17. Hasil Uji Anova Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Kadar Abu Pelet.....	51
18. Hasil Uji BNT Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Kadar Abu Pelet.....	51
19. Hasil Uji Anova Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Ketahanan Getar Pelet.....	53
20. Massa Jenis	61
21. Kadar Air	62
22. Daya Serap Air.....	63
23. Kekuatan Pelet	67
24. Uji Warna.....	68
25. Kadar Abu.....	69
26. Ketahanan Getar.....	70

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Sabetan.....	12
2. Potongan Ujung	13
3. Serbuk Gergaji	14
4. Arang Aktif.....	14
5. Briket Arang	15
6. Baglog Jamur Tiram	16
7. Papan Komposit.....	17
8. Krisbow Alat Press Hidrolik <i>Bench Type</i> 10 T	21
9. Diagram Alir Penelitian	24
10. Persiapan Bahan Baku	25
11. Pencetakan Pelet	26
12. Bahan Serbuk Gergaji Ukuran Partikel Halus	32
13. Bahan Serbuk Gergaji Ukuran Partikel Sedang.....	32
14. Bahan Serbuk Gergaji Ukuran Partikel Kasar	33
15. Panjang Pelet Kayu Berbahan Serbuk Gergaji	34
16. Diameter Pelet Kayu Berbahan Serbuk Gergaji	34
17. Grafik Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Massa Jenis	35
18. Grafik Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Kadar Air.....	38
19. Grafik Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Pelet terhadap Daya Serap Air dengan durasi sebesar 60 Detik	40
20. Grafik Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Pelet terhadap Daya Serap Air dengan durasi sebesar 120 Detik	41
21. Grafik Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Pelet terhadap Daya Serap Air dengan durasi sebesar sebesar 180 Detik.....	42
22. Grafik Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Pelet terhadap Daya Serap Air dengan durasi sebesar 240 Detik	43
23. Grafik Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Kekuatan Pelet.	46
24. Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Uji Warna	48
25. Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Kadar Abu Pelet	50
26. Pengaruh Durasi Penekanan dan Ukuran Partikel Terhadap Uji Ketahanan Getar	52
27. Pengukuran Panjang Pelet Kayu.....	71

28.	Pengambilan Uji Warna Pada PeletKayu	71
29.	Pengujian Uji Jatuh Pada PeletKayu	72
30.	Pengamatan Uji Kadar Abu Pelet Kayu	72
31.	Pelet Kayu Ukuran Partikel Halus	73
32.	Pelet Kayu Ukuran Partikel Sedang	73
33.	Pelet Kayu Ukuran Partikel Kasar	73
34.	Pelet Kayu Ukuran Partikel Campuran.....	73
35.	Pengamatan Kadar Air.....	74
36.	Pengamatan Uji Ketahanan Getar.....	74
37.	Ukuran Pelet Partikel Halus	75
38.	Ukuran Pelet Partikel Sedang.	75
39.	Ukuran Pelet Partikel Kasar.	75
40.	Ukuran Pelet Partikel Campuran.	75

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi tidak akan ada habisnya, nyaris seluruh zona membutuhkan energi mulai dari rumah tangga, pertanian, pertambangan, transportasi termasuk industri. Perkembangan industri yang pesat pula sudah menimbulkan konsumsi energi yang sangat besar. Kebutuhan akan energi pada industri di Indonesia biasanya masih dipasok oleh bahan bakar minyak ataupun gas.

Pemanfaatan sumber energi pada biomasa mempunyai keuntungan berupa karbon netral, dimana CO₂ yang dihasilkan pada waktu pembakaran setelah itu diserap kembali oleh tanaman semasa proses fotosintesis (Yokoyama, 2008), apabila dibanding dengan energi dari minyak bumi yang berupa karbon negatif. Biomasa bisa langsung digunakan selaku bahan bakar, namun mempunyai kerapatan masa yang rendah serta kasus pada penindakan, penyimpanan, serta transportasi.

Kayu ialah salah satu sumber energi yang diharapkan bisa mengambil alih sumber bahan bakar minyak. Tetapi, apabila kayu langsung dijadikan sebagai bahan bakar, kayu memiliki sifat - sifat yang kurang menguntungkan antara lain kadar air yang besar, menciptakan asap, banyak abu, serta nilai kalornya yang rendah. Bahan bakar dari kayu yang universal digunakan secara langsung merupakan sebetan serta serbuk gergaji. Pada industri kayu selama ini melaksanakan penindakan limbah industri dengan metode pembakaran.

Metode yang dilakukan ini, bisa saja memberikan dampak negatif semacam polusi ataupun pencemaran udara serta mengakibatkan dampak negatif untuk area

ataupun lingkungan sekitar atau biasanya disebut pencemaran lingkungan. Pemanfaatan sumber energi biomasa mempunyai keuntungan ialah berupa karbon netral hingga karbon negatif, maksudnya CO₂ yang dihasilkan pada saat pembakaran setelah itu diserap kembali oleh tanaman semasa proses fotosintesis (Yokoyama, 2008).

Menurut Muhdi (2003), keunggulan kayu sebagai sumber energi sebagai salah satu bahan bakar yang banyak digunakan oleh penduduk dunia antara lain: *renewable*, kayu sebagai bahan bakar terbarukan karena dapat diproduksi kembali. Energi tinggi dan emisi rendah (kurang dari 0.1 kg CO₂/kWh). Bahan bakar karbon netral kayu dari pohon juga bertindak sebagai penyerap karbon sebagai bahan bakar alternatif untuk minyak dan batu bara. Menggunakan bahan bakar kayu sebagai bahan bakar dapat meningkatkan minat masyarakat dalam penghijauan dan dengan demikian menciptakan lingkungan yang lebih baik. Nilai diversifikasi produk kayu olahan atau limbah kayu menjadi kayu energi akan meningkatkan pendapatan di tingkat perusahaan dan masyarakat.

Bahan baku *wood pellet* dapat berasal dari limbah pertambangan seperti sisa penebangan, ranting pohon, limbah industri kayu seperti scrap, serpihan kayu, serbuk gergaji dan kulit kayu (Sanusi, 2010). Serpihan kayu dibuat dengan proses pengeringan dan pengepresan tingkat lanjut dan dapat digunakan sebagai bahan bakar, yang disebut pelet kayu. Jenis bahan bakar ini merupakan alternatif bahan bakar kayu dan dianggap menguntungkan. Kompor untuk pemanas ruangan atau kompor memasak dapat digunakan dengan menggunakan *wood pellet* sebagai bahan bakarnya (Suryandari, 2013).

Pelet kayu adalah masalah utama saat ini, karena kemudahan penggunaan dan sifat bahan baku yang ramah lingkungan. Keunggulan lain dari pelet kayu dibandingkan dengan bahan bakar kayu lainnya seperti *wood chips* adalah memiliki nilai kalor yang lebih tinggi (4,3 juta kkal/ton untuk *wood pellet* vs 3,4 juta kkal/ton untuk *wood chip*), namun harga *wood pellet* relatif pelet kayu tinggi adalah \$334/t dan serpihan kayu adalah \$171/t (Choi dan Kim, 2010).

Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu adanya penelitian mengenai produksi wood pellet. Membuat bahan yang digunakan tersedia untuk energi biomassa berdensitas tinggi dalam berbagai bentuk dan ukuran, serta memfasilitasi proses penyimpanan dan transfer.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan dari masalah ini adalah sebagai berikut:

1. Adakah pengaruh ukuran partikel terhadap kualitas pelet?
2. Adakah pengaruh durasi penekanan terhadap kualitas pelet?
3. Bagaimana limbah kayu dapat dimanfaatkan menjadi pelet?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakan penelitian ini sebagai berikut :

1. Menguji pengaruh durasi penekanan yang baik dalam pembuatan pelet.
2. Mengetahui pengaruh ukuran partikel yang baik dalam pembuatan pelet.
3. Menganalisis pengaruh interaksi durasi penekanan dan ukuran partikel dalam pembuatan pelet.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat tentang pembuatan pelet kayu dari bahan serbuk gergaji sebagai bahan bakar alternatif yang baik. Hal ini diharapkan menjadi solusi untuk memanfaatkan limbah serbuk gergaji menjadi pelet kayu.

1.5. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini adalah variasi durasi penekanan dan ukuran serbuk gergaji berpengaruh terhadap karakteristik pelet yang dihasilkan.

1.6. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bahan yang digunakan dalam pembuatan pelet ini adalah serbuk gergaji.
2. Menggunakan dongkrak hidrolik dengan tekanan maksimal 15 ton.
3. Menggunakan tekanan 2 ton (173 Mpa) dalam keseluruhan pembuatan pelet kayu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengolahan Limbah Kayu

Menggergaji bisa memiliki banyak definisi, namun pada dasarnya adalah proses pengolahan kayu bulat (log/bahan baku) menjadi kayu yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Secara umum industri penggergajian adalah industri yang mengolah atau mengubah kayu dari kayu bulat (logs) menjadi kayu gergajian melalui proses *splitting* dan *cutting*. Secara garis besar sawmill bekerja dengan mengolah kayu gelondongan menjadi kayu gergajian melalui proses *splitting* dan *cutting*. Oleh karena itu, menggergaji merupakan proses paling awal dalam pengolahan dan pemanfaatan kayu, yaitu membelah dan memotong dengan gergaji (Roy Rianto et al., 2020).

Di Indonesia, terdapat tiga industri kayu yang mengkonsumsi kayu dalam jumlah yang relatif besar, yaitu: *sawmill*, *veneer/plywood*, dan *pulp/kertas*. Dalam hal pemanfaatan kembali limbah biomassa industri selama pengolahan, permasalahannya adalah limbah penggergajian kayu yang sebenarnya masih tersisa di lapangan ditimbun, sebagian dibuang ke sungai (pencemaran air) atau dibakar langsung (meningkatkan emisi karbon di atmosfer). Total produksi kayu hutan di Indonesia mencapai 52,52 juta meter kubik per tahun (Badan Pusat Statistik 2018/2019). Dengan asumsi 54,24% dari total produksi terbentuk (Malik, n.d.), 28,48 juta meter kubik limbah penggergajian dihasilkan per tahun, jumlah yang cukup besar karena menyumbang sekitar setengah dari produksi kayu gergajian. Persentase kayu yang dihasilkan merupakan indikasi jumlah kayu yang digunakan atau jumlah kayu yang ditebang dan digunakan untuk produksi

selanjutnya. Sedangkan presentase sampah merupakan indikasi banyaknya sisa sampah yang tidak terpakai di lapangan. Secara keseluruhan persentase kayu yang di produksi dan persentase limbah seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Persentase produksi dan limbah masing-masing jenis.

JENIS	JLH. PHN	VOL. PROD. m^3	VOL. LIMBAH m^3	RERATA PROD. m^3	RERATA LIMBAH m^3	PROD. (%)	LIMBAH (%)
M. Merah	144	991,89	161,96	6,89	1,12	85,96%	14,04%
M. Putih	1	5,51	0,90	5,51	0,90	85,91%	14,09%
Keruing	38	284,54	46,43	7,49	1,22	85,97%	14,03%
Kapur	26	218,19	34,48	8,39	1,33	86,35%	13,65%
Balau	33	279,23	49,74	8,46	1,51	84,88%	15,12%
Jumlah	242	1779,36	293,52	36,74	6,08	85,79%	14,21%
Rerata		7,35	1,21	7,35	1,22	85,79%	14,21%

(Albidin et al., 2018).

Tabel 1 di atas menunjukkan persentase kayu yang dihasilkan dan persentase limbah untuk masing-masing jenis. 85,96% meranti terpakai dan 14,04% limbah. Meranti yang digunakan 85,91% dan limbah 14,09%. Tingkat utilisasi keruying adalah 85,97%, dan limbah yang dihasilkan 14,03%. Kapur yang digunakan adalah 86,35% dan limbahnya 13,65%. Penggunaan balau sebesar 84,88% dan pemborosan sebesar 15,12%. Dalam industri penggergajian dan kayu lapis, kayu bulat (logs) diolah menjadi kayu gergajian dan produk kayu lapis dengan berbagai bentuk dan ukuran, serta berbagai jenis limbah yang dihasilkan selama pengolahan kayu bulat. Kayu yang dianggap tidak lagi bernilai ekonomis pada suatu proses, waktu dan tempat tertentu, tetapi masih dapat digunakan pada proses dan waktu yang berbeda. Dapat juga diartikan sebagai pemanfaatan limbah kayu dalam berbagai bentuk dan ukuran serpihan kayu yang tidak dapat diproduksi dari segi ekonomis dengan tingkat teknologi pengolahan tertentu untuk menghasilkan produk (*output*) yang bernilai tinggi dan harus mengorbankan proses produksi (Wulandari, 2019). Namun ada beberapa jenis industri pengolahan kayu, antara lain:

2.1.1. Pengolahan Industri Kayu Bulat

Kayu bulat adalah semua kayu bulat (*log*) yang dapat ditebang atau dipanen sebagai bahan baku untuk pengolahan kayu hulu. Produk kayu bulat ini dihasilkan

melalui kegiatan Hak Pengusahaan Hutan (HPH/IUPHHK), kegiatan Izin Penggunaan Kayu (IPK) dalam reklamasi kawasan hutan, kegiatan Hutan Tanaman Industri (HTI) dan kegiatan hutan rakyat. (Data Badan Pusat Statistik 2018) menunjukkan bahwa total produksi kayu bulat hutan adalah 3.651.479,49 meter kubik dari total produksi kayu Indonesia.

Industri hasil hutan kayu yang berkembang pesat adalah industri penggergajian kayu. Industri perkayuan ini mengolah kayu bulat atau kayu gergajian lainnya sebagai bahan baku industri hilir seperti mebel, bahan bangunan, dan lain-lain (Yaya et al., 2020). Situasi ini didukung oleh kebijakan pemerintah yang bertujuan untuk meningkatkan nilai jual kayu, mengurangi ekspor kayu bulat dan meningkatkan ekspor kayu gergajian (kayu olahan). Log yang digunakan sebagai bahan baku diproduksi, yang telah disimpan di log pool PT. Manokwari Mandiri Lestari awalnya dipilih berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh PT. Karya Indah Berau. Kayu gelondongan yang terpilih kemudian diangkut menggunakan metode transportasi darat milik PT. Manokwari Mandiri Lestari kepada PT. Berau Karya Indah Seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Produk hasil pengolahan pada sawmill PT. Berau Karya Indah.

Jenis mesin	Bahan Baku (m^3)	Hasil Produksi (m^3)	Limbah Serbuk (m^3)	Limbah Sabetan (m^3)
Breakdown Saw	1,152	1,106,682	48,518	0,0000
Ponny	1,106,682	973,834	132,848	0,0000
Resaw	973,834	66,1930	4,208	265,696
Cross Cut	661,930	580,743	11,479	6,9708

(Yaya et al., 2020).

2.1.2. Pengolahan Industri Kayu Mebel

Industri furnitur adalah industri yang melibatkan pengolahan bahan baku berupa kayu, rotan atau bahan baku lainnya, yang diolah untuk meningkatkan nilai tambah dan efisiensi yang lebih tinggi dari furnitur jadi. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil furnitur utama di dunia dengan potensi dan keragaman bahan baku yang sangat besar, seperti diketahui bahwa produk furnitur Indonesia

memiliki daya saing yang tinggi di pasar internasional. Penelitian (Sudiryanto & Suharto, 2020) menyebutkan bahwa industri furnitur Michigan menghasilkan lebih dari 150 ton limbah kayu per hari, yang dapat didaur ulang menjadi komposit polimer kayu (WPC). Penelitian ini mengkaji kelayakan pemanfaatan limbah mebel sebagai bahan baku pembuatan komponen mebel dengan filamen printer 3D. Seperti dapat dilihat dari Tabel 3:

Tabel 3. Perkiraan Rata-rata Limbah Mebel di Jepara.

No.	Proses	Jenis Limbah	Jumlah
1.	Penebangan	Ranting	7,67
		Akar	8,23
		Serbuk Gergaji	0,98
2.	Pembelaan	Sebetan Pinggir	15,58
		Kulit	4,87
3.	Pembahanan	Serbuk Gergaji	2,32
		Potongan Kayu	11,67
4.	Penghalus Komponen	Serbuk Gergaji	0,89
		Limbah Serut	1,56
5.	Ukiran	Tatal Ukiran	2,87
6.	Perakitan	Potong dan Serbuk	1,12
7.	Finishing	Serbuk Amplas	0,09
Jumlah Total			58,85

(Sudiryanto & Suharto, 2020).

2.1.3. Pengolahan Industri Kayu Lapis

Dalam proses pembuatan kayu lapis, pemborosan tidak dapat dihindari. dari limbah. Menurut (Subari & Yanuwiyadi, 2012). Berdasarkan limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kayu lapis, dapat dibedakan menjadi limbah pengolahan kayu primer dan limbah pengolahan kayu sekunder. Limbah primer pengolahan kayu berasal dari industri penggergajian kayu, industri kayu lapis dan industri pulp dan kertas. Limbah kayu lapis dapat berupa bahan inti, spur trimming, trimming trim, trimming, serbuk gergaji dan serbuk ampelas kayu lapis.

Secara umum limbah industri kayu lapis menyumbang 57% (Sibarani, 1991).

Hampir semua bagian dari proses produksi kayu lapis menghasilkan limbah dengan jumlah dan sifat yang bervariasi (Subari & Yanuwiyadi, 2012). Sedangkan pengolahan kayu lapis meliputi pemotongan dolok, pengupasan dolok atau

pembuatan vinir, penyiapan venir, penataan vinir, pemotongan tepi kayu lapis dan pengampelasan kayu lapis (Purwanto, 2009). Seperti yang dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jenis Limbah Kayu Lapis.

No.	Kegiatan Mesin	Jenis Limbah	Nilai Rata-rata (%)
1.	Pemotongan dolok	Potongan dolok	3,69
		Serbuk gergaji	3,69
2.	Pembuatan venir	Sisa kupasan dolok	18,25
		Venir basah	8,50
3.	Pengeringan venir	Penyusutan	3,69
4.	Pemotongan venir kering -	Venir kering	9,60
5.	Penyiapan venir	Pengurangan tebal (venir kering)	1,20
6.	Penyusunan veni	Pengurangan tebal (venir kering)	0,70
7.	Pemotongan tepi kayu lapis	Pemotongan tepi kayu lapis	3,90
		Serbuk gergaji	1,60
8.	Pengampelasan kayu lapis	Debu kayu lapis	3,07
Jumlah Limbah Rata-rata			54,81

(Purwanto, 2009).

2.1.4. Pengolahan Industri Penggajian

Dalam industri penggajian kayu dan kayu lapis, kayu bulat diolah menjadi kayu gergajian dan produk kayu lapis dengan berbagai bentuk dan ukuran, dan dalam proses pengolahan kayu bulat tersebut dihasilkan berbagai jenis limbah. Menurut (Purwanto, 2009), yang dimaksud dengan "limbah" adalah sisa atau bagian kayu yang dianggap tidak ekonomis pada suatu kerajinan, waktu, dan tempat tertentu, tetapi masih dapat digunakan pada kerajinan, tempat, dan waktu yang berbeda. Tahapan proses penggajian biasanya meliputi penggajian split, resawing, trimming, dan trimming. Seperti terlihat pada Tabel 5:

Tabel 5. Jenis Limbah Penggajian.

No.	Unit Penggajian	Jenis limbah	Nilai rata-rata (%)
1.	Pembelahan utama (Break down)	Sebetan	5,46
		Serbuk kayu	1,60
2.	Pembelahan kedua (Resawing)	Sebetan	8,23
		Serbuk kayu	2,81
3.	Pemerataan (Edging)	Sebetan	8,63
		Serbuk kayu	2,89
4.	Pemotongan (Trimming)	Potongan kayu	2,89
		Serbuk kayu	1,47

(Purwanto, 2009).

2.2. Potensi Limbah Kayu

Potensi limbah kayu di Indonesia, terdapat 3 industri yang mengkonsumsi kayu alam dalam jumlah yang relatif besar, yaitu: kayu kehutanan, penggajian kayu dan kertas. Selama ini sebagian limbah biomassa industri telah dikelola dan dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan energi kayu hutan dan kertas.

2.2.1. Potensi Industri Kayu Bulat

Menurut Jurnal Kehutanan Papua 6 (1): 37 - 46 (2020). Dari Tabel 2 di atas, persentase produk yang dihasilkan dari 24 batang kayu adalah 50,27%, serbuk 20,69%, dan tebasan 29,03%. Banyaknya limbah pemotongan disebabkan karena kayu bulat (bentuk tidak beraturan) yang diproduksi menjadi persegi panjang, selain itu diduga beberapa kayu telah pecah sehingga pemilihan potongan yang lebih besar, dan beberapa potongan digunakan untuk pengemasan. material/pellet, namun mengingat lokasi industri yang jauh dari pemukiman penduduk, sebagian besar limbah, termasuk tebasan dan serbuk gergaji, tidak dimanfaatkan secara optimal (Yaya et al., 2020).

2.2.2. Potensi Industri Kayu Mebel

Industri mebel Jepara sebenarnya banyak menghasilkan limbah yang tidak sedikit. Menurut DISPROTEK 2020, dalam perhitungan peneliti, Jepara dapat

menggunakan hingga 58,85% limbah kayu. Hal ini dinilai dari pohon hidup yang ditebang, menyebabkan lebih dari setengah timbulan sampah. Jika perhitungan dimulai dari bagian penggergajian hingga proses akhir, dalam perhitungan peneliti sampah mencapai 37,08%. Oleh karena itu, kayu perhutani dapat menggunakan bahan hingga 62,92%. Sedangkan jika produk tidak diukir, limbah yang dihasilkan 34,21%, dan kayu yang digunakan untuk membuat furnitur mencapai 65,79% (Sudiryanto & Suharto, 2020). Oleh karena itu, limbah dari industri mebel perlu dimanfaatkan dan diolah menjadi briket, papan partikel atau biomassa sejenis.

2.2.3. Potensi Industri Kayu Lapis

Dari tabel 5 diatas besarnya limbah yang dihasilkan dari industri kayu lapis rata-rata pertahun sebesar 54,81% volume, yang terdiri dari potongan dolok 3,69%, sisa kupasan dolok 18,25%, veneer basah 8,50%, penyusutan 3,69%, veneer kering 9,60%, penipisan (vinir kering) 1,90%, trim kayu lapis 3,90%, serbuk gergaji 2,21%, serbuk kayu lapis 3,07%. Oleh karena itu, terdapat potensi limbah untuk bahan bakar boiler, material core atau sambungan back veneer, dan jika industri tersebut memiliki industri blockboard dan particleboard, maka dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *blockboard core* (papan blok) dan *particleboard* (papan partikel) (Purwanto, 2009).

2.2.4. Potensi Industri Penggergajian.

Seperti terlihat pada tabel 6 di atas, rata-rata jumlah limbah yang dihasilkan oleh industri penggergajian kayu adalah 40,48%, yaitu limbah 22,32%, serbuk gergaji 9,39%, dan serbuk gergaji 8,77%. Limbah ini sering digunakan sebagai bahan bakar boiler. Jika industri tersebut merupakan industri pengolahan kayu terpadu, berpotensi sebagai bahan inti blockboard dan papan partikel (Purwanto, 2009).

2.3. Karakteristik Limbah Kayu

Di Indonesia terdapat 3 industri yang didominasi oleh kayu alam dalam jumlah yang relatif besar, salah satunya adalah industri penggergajian kayu. Limbah dari

industri ini sebenarnya masih menumpuk di lapangan. Ada yang dibuang ke sungai sehingga menyebabkan penyempitan alur sungai, pendangkalan alur sungai, menyebabkan pencemaran air, bahkan ada juga yang langsung dibakar sehingga meningkatkan emisi karbon di atmosfer. tanpa penggunaan yang efektif, sendirian, serta limbah kayu dapat mencemari lingkungan sekitar. Menurut Purwanto (2009) limbah pengegergajian kayu datang dalam berbagai bentuk :

2.3.1. Sebetan

Potong/bagi drock menjadi dua, tiga atau empat, dan bagian-bagian tersebut disebut *blancpain (kant)*, bagian yang tersisa membuat *blancpain* disebut sebetan. Dan bagian terakhir yang berbentuk kecil, itu sernuk gergaji.



Gambar 1. Sebetan.

2.3.2. Potongan Ujung

Potongan ujung adalah potongan penggergajian yang berupa potongan-potongan kayu kecil yang mirip dengan potongannya, tetapi dibuat dari sisa-sisa ujungnya. Potongan terakhir terjadi selama *finishing*.



Gambar 2. Potongan Ujung.

2.3.3. Serbuk Gergaji

Serbuk gergaji merupakan salah satu produk limbah yang dihasilkan dari produksi kayu gergajian. Menurut Setiyono (2004), serbuk gergaji dalam bentuk partikel halus tercipta saat menggergaji kayu dengan gergaji. Limbah serbuk gergaji di semua proses produksi kayu, mulai dari produksi hingga finishing. Menurut para ahli, kadar limbah serbuk gergaji sangat bervariasi, mulai dari 10% hingga 15%. Menurut (Aditya & Rahmadi, 2019) mengatakan bahwa jumlah serbuk gergaji yang dikeluarkan selama produksi kayu gergajian mencapai nilai rata-rata 10,4%, klaim ini sedikit berbeda dengan klaim (Aditya & Rahmadi, 2019) untuk mengetahui sebanyak 10% sampah. Menurut para ahli, kadar limbah serbuk gergaji sangat bervariasi, mulai dari 10% hingga 15%.



Gambar 3. Serbuk Gergaji.

2.4. Pemanfaatan Limbah Kayu.

Limbah penggergajian dapat dimanfaatkan menjadi beberapa produk yang bernilai ekonomis. Alternatif pemanfaatan limbah penggergajian kayu menurut (Wulandari, 2019) adalah sebagai berikut:

2.4.1. Arang Aktif

Karbon aktif adalah arang yang kemudian diolah pada suhu tinggi agar pori-porinya terbuka dan dapat digunakan sebagai adsorben. Proses produksi dilakukan dengan mengoksidasi gas pada suhu tinggi dan dikombinasikan dengan metode kimia menggunakan H_3PO_4 sebagai aktivator dan mengoksidasi gas.



Gambar 4. Arang Aktif.

2.4.2. Briket Arang

Briket adalah karbon aktif yang diperoleh dari proses kombinasi, yang kemudian diproduksi menjadi briket. Briket dari serbuk gergaji dapat digunakan sebagai alternatif pengganti minyak tanah dan kayu bakar.



Gambar 5. Briket Arang.

2.4.3. Pembuatan Baglog

Menurut (Widarjanto, 2016), pembuatan baglog merupakan upaya pemanfaatan limbah serbuk gergaji yang dihasilkan dari penggunaan berbagai jenis kayu sebagai media tanam. Melalui penggunaan pendekatan ini, karakteristik serbuk gergaji untuk usaha pengolahan scrap baglog dibagi menjadi sumber material, sumber daya manusia, ukuran pasar dan rantai pasar. Serbuk gergaji, bahan baku utama yang digunakan untuk memproduksi baglog, dapat digunakan dengan serbuk gergaji dari semua jenis, terutama kayu keras non-pinus. Menurut (Widarjanto, 2016), pinus yang mengandung terpenoid atau belerang dapat menghambat pertumbuhan jamur. Kayu yang baik untuk digunakan sebagai media tanam atau log adalah kayu keras atau serbuk gergaji karena banyak mengandung lignin, seperti pinset (*Quercus argentea*).



Gambar 6. Baglog Jamur Tiram.

2.4.4. Papan Komposit

Kayu bekas adalah sisa potongan kayu, seperti furnitur, yang sudah tidak digunakan lagi dan tersedia dalam berbagai ukuran dan bentuk. Potongan kayu ini akhirnya dimasukkan ke pabrik furnitur. Biasanya limbah kayu ini berbentuk balok dan serpihan. Limbah ini berbentuk papan atau potongan-potongan kecil yang masih berbentuk. Kayu bekas adalah sisa potongan kayu, seperti furnitur, yang sudah tidak digunakan lagi dan tersedia dalam berbagai ukuran dan bentuk. Potongan kayu ini akhirnya dimasukkan ke pabrik *furniture*. Biasanya limbah kayu ini berbentuk balok dan serpihan. Limbah ini berbentuk papan atau potongan-potongan kecil yang masih berbentuk. Serpihan kayu adalah sisa-sisa pengerjaan kayu, baik pemotongan maupun pemurnian untuk membuat bubur kayu. Saat ini *pulp* kayu banyak digunakan untuk membuat kayu olahan seperti slat, *block board*, dan lain-lain, sedangkan *wood chip* digunakan sebagai panel laminasi (Wulandari, 2019).



Gambar 7. Papan Komposit.

2.5. Karakteristik Pelet

Pelet adalah bentuk energi biomassa, pertama kali diproduksi di Swedia pada tahun 1980. Tablet digunakan sebagai pemanas untuk ruang kecil dan menengah. Tablet dibuat dari produk sampingan, termasuk serbuk gergaji. Pelet kayu digunakan sebagai generator panas untuk perumahan atau industri kecil. Di Swedia, pelet berdiameter 6 mm - 12 mm dan panjang 10 mm - 20 mm (Zamiraza.F,2009).

Pelet adalah hasil dari biomassa yang dikompresi pada tekanan yang lebih tinggi dari briket (60 kg/m, 1% abu dan kadar air kurang dari 10%) (El Basam dan Maegaard, 2004). Pelet memiliki kadar air yang sangat rendah sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Dalam proses pengeringan papan dalam skala kecil juga sangat berguna, terutama dengan membakar irisan dan ujungnya, panas yang dihasilkan menggunakan kipas ditransmisikan ke ruangan tempat papan dikeringkan. Untuk beberapa karakteristik yang ada pada biopellet, seperti terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 6. Karakteristik Pelet.

No	Nama	KarakteristikPelet
1	Kadar air	15,06% - 17,26%
2	Lama Keterbakaran	5,42 menit/200 gr – 7,29 menit/200 gr
3	Nilai Kalor	4029 Kkal/kg – 4106 Kkal/kg

(Rubiyantri, 2019).

Beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik produksi pelet, antara lain:

2.5.1. Tekanan Pelet.

Peningkatan tekanan pengepresan menyebabkan peningkatan kerapatan butir, peningkatan kerapatan butir juga dipengaruhi oleh ukuran partikel. Partikel halus dari tekanan yang diberikan akan mendorong partikel ke dalam zona kosong sehingga jumlah rongga berkurang, serbuk yang lebih kecil akan mengisi di antara serbuk yang lebih besar, sehingga densitas meningkat seiring dengan peningkatan tekanan kompresi. Tekanan juga mempengaruhi densitas selama pemadatan, semakin tinggi densitas biopellet dapat memudahkan penanganan, penyimpanan dan transportasi. Tablet juga memiliki daya serap air yang rendah sehingga tidak dapat dicetak dengan cepat, tekanan yang terlalu rendah menyebabkan pelet yang dihasilkan kurang maksimal, namun jika tekanan terlalu tinggi maka pelet akan pecah dan pecah ditengah (Fisafarani, 2010).

2.5.2. Lama Durasi Penekanan.

Waktu pengepresan berpengaruh terhadap nilai kalor, karena secara teoritis kenaikan kadar air bahan berbanding terbalik dengan kenaikan nilai kalor kadar air, kandungan karbon terikat, volatil dan kadar abu. Oleh karena itu dengan adanya pengaruh penambahan tekanan pengepresan maka semakin rendah kadar air bahan dan semakin rendah kadar air bahan maka semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan (Saputro et al., 2005).

2.5.3. Pengaruh Ukuran Partikel Pelet.

Ukuran dan bentuk partikel bahan baku biomassa sangat mempengaruhi proses solidifikasi. Disepakati bahwa bahan biomassa ukuran 6 – 8 mm memberikan hasil terbaik. Meskipun teknologi pengepresan ulir menggunakan tekanan tinggi (1000 - 1500 bar) dapat diterapkan pada material dengan biomassa besar, granulasi tidak akan berjalan mulus dan dapat terjadi penyumbatan pada ujungnya. Partikel biomassa yang lebih besar tidak akan terurai dengan baik dan akan menumpuk di pintu masuk menyebabkan penyumbatan. Untuk menghindari hal ini, partikel yang lebih besar sering kali digiling terlebih dahulu

untuk mencapai ukuran partikel yang berbeda. Variasi ukuran butir meningkatkan dinamika susunan butir selama pemadatan dan memberikan kontribusi terhadap kekuatan statis yang tinggi (Fisafarani, 2010).

2.5.4. Pengaruh Kadar Air

Persentase kadar air dalam bahan baku biomassa yang masuk ke mesin press merupakan faktor yang sangat penting. Secara umum disimpulkan bahwa ketika kadar air biomassa adalah 8% – 10%, pelet akan memiliki kadar air 6% – 8%. Pada kelembaban ini pelet padat dan bebas retak dan produksi pelet akan lancar. Namun, jika kadar air kurang dari 8%, pelet akan lemah dan rapuh. Selama produksi pelet, air juga bertindak sebagai pengikat dengan memperkuat ikatan pada pelet. Dalam bahan baku biomassa, air membantu pembentukan ikatan *Van der Waals* dengan meningkatkan permukaan kontak partikel. Bahkan, keberhasilan atau kegagalan pemadatan tergantung pada kadar air bahan baku biomassa. Jumlah air yang tepat menginduksi pengikatan alami komponen *lignoselulosa*. Kandungan air dalam biomassa juga mempengaruhi berat jenis pelet yang dihasilkan. Pelet yang dibuat tanpa *pretreatment* akan memiliki *bulk density* yang lebih tinggi jika kadar airnya lebih rendah (Fisafarani, 2010).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April – Juli 2021, di Laboratorium Alat Mesin Pertanian dan Laboratorium Teknik Sumber Daya Air (RSDAL), Fakultas Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

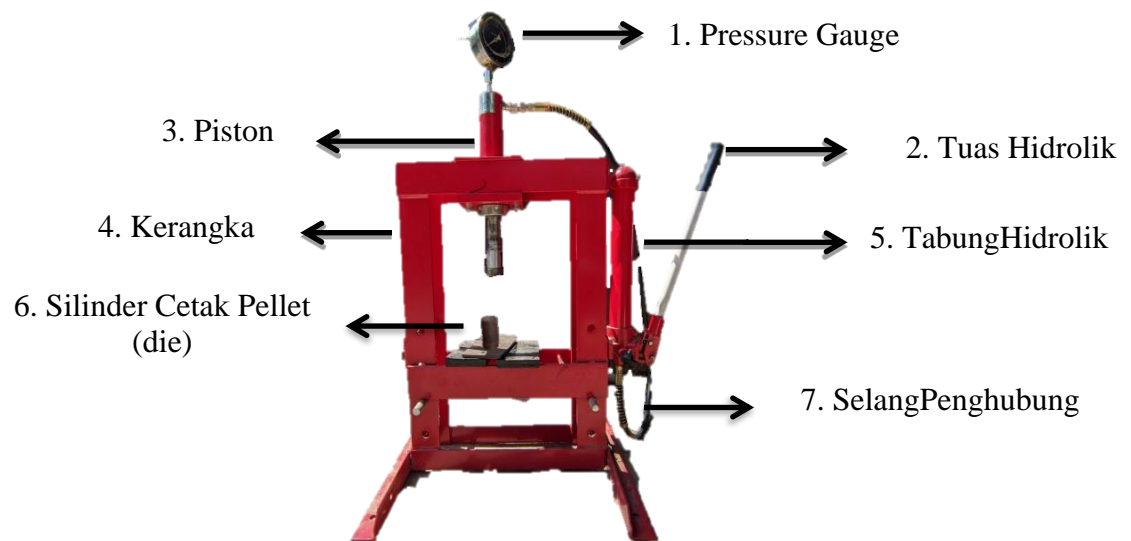
3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian, sebagaiberikut :

- a. Press hidrolik *bench type* 10 T, digunakan sebagai alat untuk pencetak pelet
- b. Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat beban pelet.
- c. Ayakan digunakan untuk mengayak serbuk gergaji dan ayakan sendiri dibutuhkan sebanyak 3 buah dengan ukuran 20 mesh, 30 mesh, dan 40 mesh.
- d. Oven Memmert DIN 40050 – IP 20, digunakan untuk mengeringkan Pelet kayu dalam uji kadar air dan daya serap air.
- e. Cawan digunakan sebagai wadah pelet.
- f. Sendok digunakan untuk memasukkan sampel serbuk gergaji kedalam plastik
- g. Toples digunakan untuk menyimpan pelet.
- h. Tanur Stuart SF7/D Seri R000100019, digunakan untuk mangabukan Pelet dalam uji kadar abu.
- i. Desikator digunakan untuk menetralkan bahan ketika selesai saat pengovenan maupun dari pengabuan.
- j. Alat tulis diperlukan untuk mencatat hasil dari penelitian

- k. Plastik dengan ukuran 100 gr sebagai wadah (sampel) serbukergaji yang dihaluskan.
- l. Jangka sorong, digunakan untuk mengukur ukuran biopellet dalam uji Massa Jenis.
- m. Bor duduk, digunakan untuk uji getar.
- n. Colormeter AMT507, digunakan untuk mengukur warna pelet dalam uji warna.



Gambar 8. Krisbow Alat Press Hidrolik *Bench Type 10 T*.

Bagian – bagian Krisbow Alat Press Hidrolik *Bench Type 10 T* yaitu :

- 1. Barometer, digunakan untuk penunjuk tekanan alat press.
- 2. Tuas Hidrolik, digunakan untuk menggerakkan piston supaya memberikan tekanan.
- 3. Piston, digunakan untuk menekan bahan baku serbuka kayu biopellet di dalam silinder cetak pelet.
- 4. Kerangka, digunakan untuk penyangga alat press.
- 5. Tabung Hidrolik, digunakan sebagai pelicin supaya piston mudah digerakan.
- 6. Silinder Cetak Pelet, digunakan sebagai cetakan *biopellet*.
- 7. Selang penghubung, digunakan sebagai penghubung antara Tuas Hidrolik dengan barometer.

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji yang merupakan bahan baku utama yang diperoleh dari tempat pembuatan mebel. Serbuk gergaji yang digunakan adalah campuran kayu jati, senggong, dan akasia. Serbuk gergaji berasal dari industri mebel Kurnia yang berlokasi di Jl. H Komarudin N0.7, Rajabasa Raya, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung, 35142.

3.3. Rancangan Percobaan

Metode yang digunakan dalam uji coba adalah rancangan acak lengkap. (RAL) Faktorial. Penelitian ini menggunakan dua faktor yaitu faktor durasi penekanan dan faktor ukuran partikel serbuk gergaji. Untuk tekanan keseluruhan menggunakan 2 ton diubah menjadi 172 MPa.

A. Faktor Durasi Penekanan terdiri dari 4 taraf, yaitu :

1. 60 detik (D1)
2. 120 detik (D2)
3. 180 detik (D3)
4. 240 detik (D4)

B. Faktor Partikel serbuk gergaji terdiri dari 4 taraf, yaitu :

1. Halus (P1) Lolos ayakan 40 mesh
2. Sedang (P2) Lolos ayakan 30 mesh
3. Kasar (P3) Lolos ayakan 20 mesh
4. Campuran (P4) Lolos ayakan 40, 30, dan 20 mesh

Pada saat pemberian tekanan diikuti dengan pemberian waktu (durasi) tekanan secara simultan, alat yang digunakan untuk penekanan adalah stopwatch handphone. Berikan interval waktu di mana pengepresan dilakukan untuk menentukan kualitas kekuatan pelet kayu. Adapun durasi penekanannya sendiri dilakukan dengan 4 durasi yaitu 60 detik, 120 detik, 180 detik, dan 240 detik (ISO 17225-2).

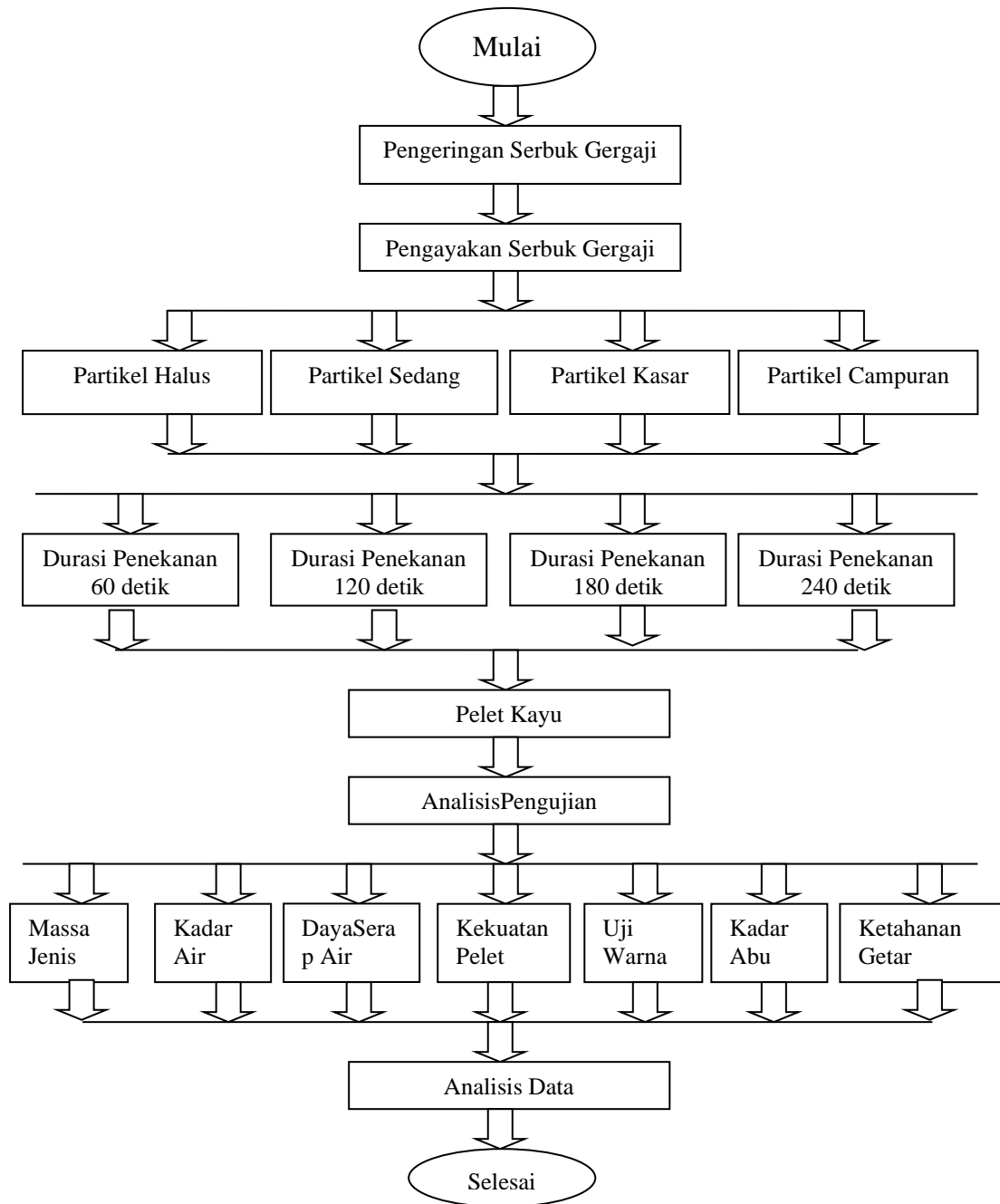
Dari masing-masing faktor dan perlakuan diperoleh 16 sampel dengan 3 ulangan. Data yang dihasilkan akan dianalisis menggunakan variasi, dilanjutkan dengan uji Beda Nyata (BNT). Uji BNT digunakan sebagai acuan untuk menentukan apakah nilai dua perlakuan berbeda secara statistik. Berikut tabel pengumpulan data untuk 48 sampel:

Tabel 7. Kombinasi Perlakuan.

D	P			
	P1	P2	P3	P4
D1	D1P1	D1P2	D1P3	D1P4
D2	D2P1	D2P2	D2P3	D2P4
D3	D3P1	D3P2	D3P3	D3P4
D4	D4P1	D4P2	D4P3	D4P4

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian.

3.5. Pembuatan Pelet

Adapun tahapan dalam pembuatan pelet kayu dalam penelitian ini sebagai berikut:

3.5.1. Persiapan Bahan Baku

Persiapan bahan baku dimulai dengan pengambilan sisa potongan serbuk gergaji dari industri Kurnia Mebel. Untuk jenis serbuk gergaji yang digunakan merupakan campuran dari serbuk akasia, jati, dan senggong.



Gambar 10. Persiapan Bahan Baku.

3.5.2. Pengayakan

Pengayakan dilakukan dengan menggunakan 3 tahap pengayakan, yaitu 20 mesh, 30 mesh dan 40 mesh. Sedangkan untuk campuran sendiri diambil dari masing-masing ukuran mesh. Hasil dari pengayakan ini yang akan digunakan dalam pembuatan pelet kayu.

3.5.3. Penimbangan

Penimbangan bahan baku sendiri dilakukan untuk mempersiapkan bahan sebelum dicetak, bahan setiap sampel ditimbang seberat 3 gram. Sedangkan untuk partikel campuran sendiri digabungkan 1 gram setiap ukuran mesh. Sampel yang sudah

ditimbang dimasukkan kedalam wadah plastik, agar pada saat pencetakan pelet tidak memakan waktu yang banyak.

3.5.4. Pencetakan Pelet

Bahan serbuk gergaji yang telah ditimbang kemudian dicetak dengan alat press hidrolik dengan silinder padat berdiameter 1,2 cm. Untuk menekan pelet digunakan tekanan 2 ton (173 Mpa).



Gambar 11. Pencetakan Pelet.

3.5.5. Pengujian Pelet

Setelah pelet berhasil dicetak maka dilakukan pengujian yaitu analisis massa jenis, analisis kadar air, analisis dayaserap air, analisis uji banting, analisis uji warna, analisis kadar abu, dan analisis uji ketahanan getar.

3.6. Parameter Pengujian

3.6.1. Massa Jenis

Penentuan densitas dilakukan dengan cara mengambil masing-masing bahan baku sebanyak 3 gram dan *granulasi* (menyamakan) dengan cara menyamakan semua sampel yang ada. Kemudian ditimbang agar diketahui berat dan ukuran volume

sehingga dimasukkan kedalam sebuah wadah agar mengetahui volumenya. Uji densitas dilakukan untuk mengetahui densitas komponen pelet (EN 15103:2009). Satu buah batang pelet diukur diameter (d), panjang (l) dan beratnya (w).

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Keterangan :

ρ = massa jenis.

m = massa Pelet biomassa (g).

v = volume pelet biomassa (cm³).

3.6.2. Kadar Air

Kadar air ditentukan sebagai nilai perbandingan massa yang ada dalam 3 gram bahan dan pelet terhadap massa yang telah dikeringkan dengan oven. Kandungan air yang tinggi akan membuat bahan bakar terbakar lebih lama dan akan membutuhkan energi yang besar. Selain itu, kandungan air yang tinggi ini juga dapat menyebabkan pelet menjadi berjamur. Selama *humidifikasi* (oven), sampel diletakkan di atas aluminium foil yang telah dibentuk menjadi piringan yang dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam sampai kadar air tetap konstan (tetap). Sampel yang sudah jadi dalam oven pengering kemudian ditempatkan dalam desikator selama 15 menit untuk memastikan penimbangan yang stabil (ASTM D 5142 – 02).

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

Keterangan:

KA = Kadar Air

m_B = massa sampel sebelum dikeringkan (g).

m_K = massa sampel sesudah dikeringkan (g).

3.6.3. Daya Serap Air

Uji daya serap air bertujuan untuk mengetahui daya tahan atau umur simpan pelet jika diletakkan diruangan terbuka. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil 3 gram bahan baku dan pelet disetiap perlakuan. Sebelum pelet diuji terlebih dahulu dimasukkan kedalam oven agar kadar air dalam pelet konstan. Setelah selesai di oven pelet langsung dimasukkan kedalam ruangan terbuka untuk diukur

suhu, rh, dan berat pelet setiap hari selama 30 hari (SNI 01-6235-2000). Bahan diukur setiap hari untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada bahan.

$$\text{Daya Serap Air} = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100\%$$

Keterangan:

m1 = berat pelet hari ke n (g)

m2 = berat pelet hari ke n-1 (g)

3.6.4. Kekuatan Pelet

Kekuatan pelet dilakukan untuk mengetahui daya tahan pelet selama penyimpanan atau pemindahan. Kekuatan pelet diperoleh dari hasil uji pelet dijatuhkan dari ketinggian 1,5 meter pada semua sampel pelet pelet (ASTM D4179-11). Setelah dijatuhkan, pelet diamati dan ditimbang kembali. Untuk mengetahui nilai uji banting dilihat dari perubahan fisik pelet dengan rumus :

$$\text{Kekuatan Pelet} = (W_2/W_1) \times 100\%$$

Keterangan :

B = Kekuatan Pelet.

W1 = Pelet kayu sebelum dijatuhkan (g).

W2 = Pelet kayu sesudah dijatuhkan (g).

3.6.5. Uji Warna

Pengujian warna adalah prosedur kimia yang menguji senyawa menggunakan reagen dengan mengamati warna yang terbentuk atau perubahan warna yang terjadi. Pengujian warna dilakukan pada pelet sebelum dan sesudah produksi pelet. Pengujian perubahan warna dilakukan dengan menggunakan sistem CIE-Lab dengan parameter warna kecerahan (L^*), kromatisasi merah/hijau (a^*), dan kromatisasi kuning/biru (b^*). Perubahan warna secara keseluruhan (ΔE^*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 (Esteves dan Pereira, 2009)

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

Keterangan :

$0,0 < \Delta E^* \leq 0,5$ = 0,5 (perubahan dapat diabaikan).

$0,5 < \Delta E^* \leq 1,5$ = 1,5 (perubahan warna sedikit).

$1,5 < \Delta E^*$	= 3 (perubahan warna nyata).
$3 < \Delta E^*$	= 6 (perubahan warnabesar).
$6 < \Delta E^*$	= 12 (perubahan warna sangat besar).
$\Delta E^* > 12$	= warna berubah total.
Nilai $\square E$	= Pelet sebelum dicetak.
Nilai $\square L$	= Perubahan Pelet.
Nilai L0	= Partikel (T) pelet.
Nilai L1	= Durasi (P) penekanan pada pellet sesudah dicetak.

3.6.6. Kadar Abu

Penentuan kadar abu pertama-tama dilakukan dengan menimbang cawan porselen, kemudian menempatkan sampel pelet seberat 3 gram ke dalam cawan porselen yang massanya diketahui. Sampel pelet kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu maksimum 550 °C selama 2 jam. Setelah pengeringan oven selesai, sampel pelet kemudian didinginkan dalam desikator sampai stabil selama 20 menit, setelah itu sampel dapat ditimbang. Kadar abu dapat dihitung dengan rumus: (Badan Standardisasi Nasional, 2014).

$$\text{Kadar Abu \%} = \frac{BA}{BK} \times 100\%$$

Keterangan :

BA = Bobot Abu (g).

BK = Bobot sampel Kering Oven (g).

3.6.7. Ketahanan Getar

Uji getar digunakan untuk mengetahui presentase jumlah pelet yang masih utuh setelah mengalami perlakuan fisik dengan mekanik. Pengujian dilakukan dengan 3 ulangan setiap perlakuan. Pada setiap perlakuan, pelet dimasukkan kedalam botol dan diberi getaran selama 60 detik. Setelah 60 detik, alat mesin dimatikan dan ditimbang kembali bobot pelet. Mesin pengetar yang digunakan memiliki frekuensi sebesar ± 1200 rpm atau ± 20 Hz dan amplitude (jarak) dari batang pengetar sebesar 5,5 cm. Nilai bahan hasil diberi getaran dihitung dengan persamaan :

$$\text{Ketahanan Getar} = \frac{ma}{mb} \times 100\%$$

Keterangan :

ma = massa sampel pelet setelah uji (g)

mb = massa sampel pelet awal (g)

3.7. Analisis Data

Untuk data yang diperoleh, dilakukan perhitungan dengan menggunakan Ms. Excel dan SAS (*Statistical Analysis Software*). Jika terdapat perbedaan yang nyata dalam analisis maka dilakukan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk melihat perbedaan pengaruh antar perlakuan. Hasil analisis atau pengolahan data akan dijelaskan dalam bentuk tabel dan grafik serta dideskripsikan secara deskriptif.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Faktor durasi penekanan pada taraf 5%, tidak berpengaruh nyata terhadap pelet kayu. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan durasi penekanan, yang mempengaruhi pelet saat membuat pelet kayu.
2. Faktor ukuran partikel pada taraf 5%, berpengaruh nyata terhadap massa jenis, warna pelet, dan kadar abu. Namun tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air, daya serap air, kekuatan pelet, dan uji ketahanan getar. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh durasi penekanan dimana setiap variabel yang digunakan pada saat pembuatan pelet nilainya lebih dari 5% sehingga tidak berpengaruh terhadap ukuran partikel.
3. Pengaruh interaksi durasi penekanan dan ukuran partikel pada taraf 5%, tidak berpengaruh terhadap massa jenis, kadar air, ketahanan pelet, warna pelet, kadar abu dan uji ketahanan getar. Tetapi berpengaruh terhadap daya serap air.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlu dilakukan penelitian pelet dengan variasi perbedaan ukuran tekanan.
2. Dalam pembuatan pelet sebaiknya tidak memerlukan durasi penekanan. Hal ini dikarenakan durasi tidak berpengaruh terhadap pelet berbahan serbuk gergaji.

DAFTAR PUSTAKA

- Alemi, , M. H. Kianmehr H., and Borghaee A. M. 2010. Effect of Pellet Processing of Fertilizer on Slow-Release Nitrogen in Soil. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(2):74-80.
- ASTM D4179. 2011. *ASTM Standard practice for proximate analysis of coal and coke. USA: American Society for Testing and Materials*. ASTM International, USA.
- ASTM D 5142-02. 2004. *ASTM D 5142-02 Standard test methods for proximate analysis of the analysis sample of coal and coke by instrumental procedures*. ASTM International, USA.
- Bahri, Samsul. 2007. *Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu Untuk Pembuatan Briket Arang Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan di Nanggroe Aceh Darussalam*. Thesis. Sekolah Pascasarjana. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Badan Standarisasi Nasional. 2014. *Pelet Kayu*. SNI 8021. 2014. Jakarta.
- Choi dan Kim Js. 2010. *The Comparative Study of Wood Fuels Using Life Cycle Assesment*. Kangwon National University in republic of Korea.
- EN 15103:2009. *Solid biofuels. Determination of bulk density*. British Standards Institution.
- Esteves, B. M., and Pereira, H. M. 2009. *Wood Modification by Heat Treatment: A Review BioResources* 4(1): 370–404.
- Fisafarani, H. 2010. *I Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa dan Potensi Bio-pelet di Indonesia*. Skripsi. Jakarta. 106 hlm.: Universitas Indonesia.
- Grover, P. D., & Mishra, S. K. 1996. *Biomass briquetting: Technology and practices*. Regional Wood Energy Development Programme in Asia FAO. Bangkok, Thailand.
- Handayani. 2010. Kualitas Batu Bata Merah dengan Penambahan Serbuk Gergaji. *Jurnal Teknik dan Perencanaan*, 1(12): 41–50.

- Hasna, A. H., Sutapa, J. P. G., & Irawati, D. (2019). Pengaruh Ukuran Serbuk dan Penambahan Tempurung Kelapa Terhadap Kualitas Pelet Kayu Sengon. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 13(2), 170. <https://doi.org/10.22146/jik.52428>
- Hendra, D. 2012. *Rekayasa pembuatan mesin Pelet Kayu dan Pengujian Hasilnya. Jurnal Penelitian Hasil Hutan Vol. 30 No. 2 Juni 2012*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan. Bogor.
- ISO 17225-2. 2014. *Solid biofuels fuel specifications and classes*. Part 2: Graded wood pellets. Ireland, UK: National Standards Authority of Ireland
- Julianto, Arie. 2012. *Densitas*, diakses pada 6 April v 2016, blogs unpad.ac.id/ariejulianto/2012/10/03/hello-world.
- Kasmudjo. 2010. *Buku Ajar Mata Kuliah Hasil Hutan Non Kayu*. Fakultas ehutanan UGM: Yogyakarta.
- Kaliyan, N., & Morey, R.V. 2009. Factors affecting strength an durability of densified biomass products. *Biomass Bioenergy*, 33(3), 337-359.
- Kliwon, S. 1998. *Proses Pembuatan Kayu Lapis. Pusat Penelitian dan Pengembangn Hasil Hutan*. Departemen Kehutanan, Bogor.
- Lehman, B., Schröder, H.W., Wollenberg, R. & Repke, J.U. 2012. *Effect Of Miscanthus Addition and Different Grinding Processes On The Quality Of Wood PELETs*. *Biomass and Bioenergy*. 44: 150–159.
- Lehtikangas, P. 2001. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark, *Biomass and Bioenergy*, 20, 351–360.
- Martawijaya, A. and P, Sutigno. 1990. Increasing the efficiency and productivity of wood processing through the minimization and utilization of wood residues. Seminar on Wood Technology, Jakarta.
- Mintarsih, T.H. 2006. *Panduan Praktis Pengelolaan Lingkungan Industri Plywood* .Asdep. Bidang Pengendalian dan Pencemaran Agro Industri Jakarta.
- N, El Bassam. dan Maegaard P. 2004. *Integrated Renewable Energy or Rural Communities. Planning guidelines, Technologies and Applications Elsevier*, Amsterdam.
- Nugrahaeni, J. 2008. *Pemanfaatan Limbah Tembakau (Nicotiana tabacum, L) untuk Bahan Pembuatan Briket sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Fakultas Teknologi: IPB.

- Oveisi Fordiie, E. 2011. *Durability of Wood Pellets (Thesis)*. Faculty of Graduate Study Chemical and Biological Engineering. University Of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada.
- Pambudi, F. K., Nuriana, W., & Hantarum, H. 2018. "Pengaruh Tekanan Terhadap Kerapatan, Kadar Air dan Laju Pembakaran Pada Biobriket Limbah Kayu Sengon". Prosiding Seminar Nasional "Sains Dan Teknologi Terapan" 547–554.
- Poddar, S., Kamruzzaman, M., Sujan, S.M.A., Hossain, M., Jamal, M.S., & Khanam, M. 2014. *Effect of compression pressure on lignocellulosic biomass pellet to improve fuel properties: Higher heating value*. Fuel 131, 43- 48. doi:10.1016/j.fuel.2014.04.061.
- Prasetyo, B. 2004. *Pengaruh jumlah perekat dan variasi besar tekanan kempa terhadap kualitas briket arang dari sabutan kayu jati, sonokeling, dan kelapa.*: Universitas Gajah Mada.: Yogyakarta.
- Pringle, Adam., Rudnicki Mark, Pearce Joshua. 2019. Wood Furniture Waste Based Recycled 3-D Printing Filament. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02111355>. Submitted on 26 Apr 2019.
- Purwanto, D. 2009. *Analisa Jenis Limbah Kayu Pada Industri Pengolahan Kayu di Kalimantan Selatan*. Jurnal Riset Industri Hasil Hutan Vol.1, No.1, : 14 – 20.
- Rachman, O, 1999. *Bahan Baku dan Proses Penggergajian Kayu*. Pusat Penelitian hasil Hutan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan dan Perkebunan Bogor.
- Ramsay W. S. 1982. *Energy from Forest Biomass*. Ed. Academic Press, Inc.. New York.
- Rahman. 2011. *Uji Keragaan Biopellet Dari Biomassa Limbah Sekam Padi (Oryza sativa Sp.) Sebagai Bahan Bakar Alternatife Terbarukan*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Rianto R, Wahyudi, Djitmau DA. 2019. Potensi dan pemanfaatan limbah gergajian pada stand kayu di Distrik Manokwari Barat. Jurnal Kehutanan Papuaasia. 5(1): 33-41. DOI: <https://doi.org/10.46703/jurnalpapuasiasiaVol5.Iss1.111>.
- Rudolfsson, M. 2016. Characterization and densification of carbonized lignocellulosic biomass (Doctoral Thesis). Swedish University of Agricultural Science.

- Rusdianto, A.S., Choiron, M., & Novijanto N. (2014). *Karakterisasi limbah industri tape sebagai bahan baku pembuatan biopelet*. Jurnal Industrialisasi, 1(3), 27-32.
- Sa'dah, W.A. 2014. *Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) dan Serbuk Kayu Mahoni sebagai Bahan Baku BioPELET*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Samuelsson, R., Larsson, S. H., Thyrel, M., & Lestander, T. A. (2012). Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets. *Applied Energy*, 99, 109–115. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.004.
- Sanusi. 2010. *Karakteristik Pelet Kayu Sengon*. Universitas Hasanudin: Makassar.
- Saputro, D.D., Widayat dan Rusianto. 2005. *Biomassa Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia*. Jurnal Profesional, 5(2): 705–716.
- Subari, D., & Yanuwiyadi, B. (2012). EFEKTIFITAS PENGELOLAAN LIMBAH CAIR PADA INDUSTRI KAYU LAPIS DI KALIMANTAN SELATAN. 12(1), 10.
- Setiyono. 2004. *Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Industri Kecil*. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Sibarani. 1991. *Identifikasi Limbah Industri Pengolahan Kayu Lapis dan Kemungkinan dan Pemanfaatannya di PT. Kayu Lapis Indonesia Semarang*. Fakultas Kehutanan IPB Bogor.
- Standar Nasional Indonesia. 2014. “*Pelet Kayu (SNI 06-3730-1995)*”. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional Indonesia
- Standar Nasional Indonesia. 2014. *Pelet kayu*. (SNI 8021-2014). Badan Standardisasi Nasional.
- Sudiryanto, G., & Suharto, S. 2020. ANALISA JENIS LIMBAH KAYU DI JEPARA. *Jurnal DISPROTEK*, 11(1), 47–53. <https://doi.org/10.34001/jdpt.v11i1.1163>
- Suryandari, E. Y. 2013. Studi Kasus di Kabupaten Wonosobo. 10(4), 12.
- Sulistiyanto B., S. C. Utama, S. Sumarsih. 2016. Effect of Administering Zeolite on The Physical Performances of Pellet Product Contained Chickens Hatchery Wastes. *Proceedings of International Seminar on Livestock Production and Veterinary Technology*. P.415-421. DOI: <http://dx.doi.org/10.14334/Proc.Intsem.LPVT>.

- Suriawiria, U. 2001. *Sukses Beragrobisnis Jamur Kayu: Shitake, Kuping, Tiram*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Wahyudi. 2013. *Dasar-dasar penggergajian kayu*. Yogyakarta: Pohon Cahaya.
- Wibowo, C. 1990. *Pengaruh Media Semai Serbuk Gergaji dan Pemupukan terhadap Pertumbuhan Sengon (Paraserianthes falcataria) di Rumah Kaca dan di Hutan Pendidikan IPB, Gunung Walat, Sukabumi*. Skripsi. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Widharmana, S. 1973. *Logging Waste dan Kemungkinan Pemanfaatannya*. Kerjasama Direktorat Jenderal Kehutanan dan Fakultas Kehutanan IPB. Bogor
- Winata, A. 2013. *Karakteristik Biopellet dari Campuran Serbuk Sengon dengan Arang Padi sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan*. IPB. Bogor
- Widarjanto. (2016). *Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Di Kabupaten Temanggung*. PT. Sulaksana Watinsa Indonesia.
- Wulandari, F.T. 2017. *Bahan ajar Pengolahan Limbah Industri Hasil Hutan*. Fakultas Pertanian Jurusan Kehutanan Universitas Mataram.
- Yaya, Rusdi Angrianto, & Yohanes Y. Rahawarin. (2020). *Presentase Limbah Pada Industri Sawmill PT. Berau Karya Indah di Kabupaten Teluk Bituni*. Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan Universitas Papua Manokwari.
- Yokoyama, S. (2008). *Buku Panduan Biomassa Asia*. The University of Tokyo.
- Zam HA, Syahidah, dan B. Putranto. (2009) *Karakteristik Pelet Kayu Gmelina (Roxb.)* Fakultas Kehutanan Universitas Hasanudin Makassar. Gmelina arborea.
- Zamirza, F. 2009. *Pembuatan Biopellet dari Bungkil Jarak Pagar (Jathropa curcasL. Dengan Penambahan Sludge dan Perekat Tapioka,* [Skripsi] Fakultas Pertanian Teknologi Pertanian IPB. Bogor.