INOVASI BIOBRIKET BERBASIS BIOCHAR DARI PIROLISIS *FLUFF* TEH DENGAN BERBAGAI PEREKAT

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia

Diajukan oleh

Albin Alfian Daud

NIM 2108036022

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO

SEMARANG

2025

Inovasi Biobriket Berbasis Biochar dari Pirolisis *Fluff* Teh dengan Berbagai Perekat

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia

Albin Alfian Daud

NIM 2108036022

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO

SEMARANG

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Albin Alfian Daud

NIM : 2108036022

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

Inovasi Biobriket Berbasis Biochar dari Pirolisis *Fluff* Teh dengan Berbagai Perekat

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya saya sendiri, kecuali bagian lain yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 30 Juli 2025

Pembuatan pernyataan,



Albin Alfian Daud

NIM 2108036022

KEMENTERIAN AGAMA UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang Telp.024-7601295

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Inovasi Biobriket Berbasis Biochar dari Pirolisis *Fluff* Teh dengan Berbagai Perekat

Nama : Albin Alfian Daud

NIM : 2108036022

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang ilmu kimia.

Semarang, 10 September 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang	Sekretaris Sidang
Dr. R. Arizal Firmansyah, M.Si	Rais Nur Latifah, M.Si
NIP.197908192009121001	NIP.199203042019032019
Penguji I	Penguji II
Mutista Hafishah, M.Si	Ayu Mardliyah, M.Si
NIP.199401022019032016	NIP.198905252019032019
Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. R. Arizal Firmansyah, M.Si	Dr. Egi Agustian, M.Eng
NIP.197908192009121001	NIP.197808242006041021

KEMENTERIAN AGAMA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN WALISONGO SEMARANG REPUBLIK INDONESIA

NOTA DINAS

Semarang, 31 Juli 2025

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakulas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Inovasi Biobriket Berbasis Biochar dari Pirolisis *Fluff* Teh dengan Berbagai Perekat

Nama : Albin Alfian Daud

NIM : 2108036022

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dosen Pembimbing I

Dr. R. Arizal firmansyah S.Pd., M.Si.
NIP.197908192009121001

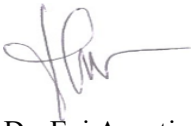
NOTA DINAS

Semarang, 31 Juli 2025

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakulas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:
Judul : Inovasi Biobriket Berbasis Biochar dari Pirolisis *Fluff* Teh dengan Berbagai Perekat
Nama : Albin Alfian Daud
NIM : 2108036022
Jurusan : Kimia
Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.
Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dosen Pembimbing II



Dr. Egi Agustian, M.Eng
NIP.197808242006041021

ABSTRAK

Biobriket merupakan bahan bakar padat alternatif yang ramah lingkungan yang dihasilkan dari limbah biomassa. Salah satu limbah yang potensial adalah *fluff* teh, yaitu residu dari proses produksi teh yang masih jarang dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan biobriket berbasis biochar dari *fluff* teh menggunakan berbagai jenis perekat alami (tepung tapioka, maizena, beras ketan, dan sagu), untuk menghasilkan biobriket berkualitas baik. Adapun metodologi pada penelitian ini menggunakan proses pirolisis fluff teh berukuran 8 mesh pada suhu 300 °C selama 70 menit untuk menghasilkan biochar, yang kemudian dikecilkan partikel menjadi 35 mesh. Biobriket diformulasikan dengan konsentrasi perekat 5%, 10%, dan 15% serta diberikan tekanan sebesar 2 MT. Karakterisasi dilakukan melalui analisis proksimat, nilai kalor, densitas, laju pembakaran, kuat tekan, serta analisis lanjut berupa CHN, FTIR, dan SEM. Hasil uji nilai kalor pada konsentrasi perekat 5% menunjukkan bahwa biobriket dengan perekat maizena memiliki nilai kalor tertinggi sebesar 5885,89 kal/g, diikuti oleh beras ketan (5874,45 kal/g), tapioka (5871,61 kal/g), dan sagu (5761,39 kal/g). Analisis CHN menunjukkan peningkatan kadar karbon dari biomassa (46,8%) menjadi biochar (65,54%), dan biobriket dengan kadar karbon tertinggi terdapat pada perekat beras ketan (59,17%). Spektrum FTIR menunjukkan penurunan intensitas gugus (O–H) setelah proses pirolisis, sedangkan citra SEM memperlihatkan perubahan

morfologi dengan pori yang lebih terbuka pada biochar dan tertutup kembali pada biobriket akibat proses densifikasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fluff teh berpotensi besar sebagai bahan baku biobriket, dengan karakteristik fisik dan kimia yang dapat ditingkatkan melalui pemilihan jenis dan konsentrasi perekat yang tepat.

Kata Kunci: Biobriket, *Fluff* Teh, Pirolisis, Tepung Tapioka, Maizena, Beras Ketan, Sagu

TRANSLITERASI

Pedoman transliterasi Arab-Latin yang digunakan dalam penulisan disertasi ini mengacu pada pedoman transliterasi yang ditetapkan melalui Keputusan Bersama (SKB) Menteri Agama dan Menteri Pendidikan serta Kebudayaan Republik Indonesia, dengan nomor 158 Tahun 1987 dan nomor 0543b/U/1987. Berikut ini adalah daftar huruf-huruf Arab beserta transliterasinya menggunakan huruf Latin.

1. Konsonan

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
ا	Alif	Tidak dilambangkan	Tidak dilambangkan
ب	Ba	B	Be
ت	Ta	T	Te
ث	Ṡa	Ṡ	Es (dengan titik di atas)
ج	Ja	J	Je
ح	Ḥa	Ḥ	Ha (dengan titik di bawah)
خ	Kha	Kh	Ka dan Ha
د	Dal	D	De
ذ	Żal	Ż	Zet (dengan titik di atas)
ر	Ra	R	Er
ز	Za	Z	Zet

س	Sa	S	Es
ش	Sya	SY	Es dan Ye
ص	Ṣa	Ṣ	Es (dengan titik di bawah
ض	Ḍat	Ḍ	De (dengan titik di bawah
ط	Ṭa	Ṭ	Te (dengan titik di bawah)
ظ	Ẓa	Ẓ	Zet (dengan titik di bawah)
ع	‘Ain	‘	Apostrof Terbalik
غ	Ga	G	Ge
ف	Fa	F	Ef
ق	Qa	Q	Qi
ك	Ka	K	Ka
ل	La	L	El
م	Ma	M	Em
ن	Na	N	En
و	Wa	W	We
هـ	Ha	h	ha
ء	Hamzah	’	Apostrof
ي	Ya	Y	Ye

Hamzah (ء (yang terletak di awal kata mengikuti vokalnya tanpa diberi tanda apa pun. Jika hamzah (ء

(terletak di tengah atau di akhir, maka ditulis dengan tanda (’).

2. Vokal

Vokal dalam bahasa Arab, sama seperti vokal dalam bahasa Indonesia, terdiri dari vokal tunggal atau monoftong serta vokal rangkap atau diftong. Vokal tunggal dalam bahasa Arab yang dilambangkan dengan tanda atau harakat, transliterasinya adalah sebagai berikut:

Huruf Arab	Nama	Nama Latin	Nama
اَ	Fathah	A	A
دِ	Kasrah	Dil	Di
سُ	Dhammah	Su	Su

Vokal rangkap bahasa Arab yang lambangnya berupa gabungan antara harakat dan huruf, transliterasinya berupa gabungan huruf, yaitu:

Tanda	Nama	Huruf Latin	Nama
اَيْ	Fatḥah dan ya	Ai	A dan I
اَوْ	Fathah dan Wau	Iu	A dan U

Contohnya:

Kaifa = كَيْفَ

Haula = هَوْلَ

3. Maddah

Maddah atau vokal panjang yang dilambangkan dengan harkat dan huruf, transliterasinya menggunakan huruf dan tanda, yaitu:

Harkat dan Huruf	Nama	Huruf dan Tanda	Nama
اَ يَ	Fathah dan alif atau ya	ā	a dan garis di atas
يِ	Kasrah dan ya	ī	i dan garis di atas
وُ	Ḍammah dan wau	ū	u dan garis di atas

Contohnya:

Māta = مآتَ

Ramā = رَمىَ

4. Ta Marbūṭah

Transliterasi untuk ta marbūṭah dibagi menjadi dua, yaitu: ta marbūṭah yang hidup atau yang memiliki harkat fatḥah, kasrah, atau ḍammah, transliterasinya adalah [t], sedangkan ta marbūṭah yang mati atau memiliki harkat sukun, transliterasinya adalah [h]. Jika sebuah kata yang berakhir dengan ta marbūṭah diikuti oleh kata berikutnya yang menggunakan kata sandang al dan bacaan kedua kata itu terpisah, maka ta marbūṭah tersebut ditransliterasikan dengan huruf ha (h).

Contohnya:

الحِكْمَةَ = Al-hikmah

5. Syaddah (Tasydīd)

Dalam sistem tulisan Arab, syaddah atau tasydīd dilambangkan dengan tanda tasydīd (ـّ). Dalam transliterasi, tasydīd ini dilambangkan dengan perulangan huruf (konsonan ganda) yang diberi tanda syaddah.

Contohnya:

Rabbanā = رَبَّنَا

Al-haqq = الحَقُّ

6. Kata Sandang

Dalam sistem tulisan Arab, kata sandang dilambangkan dengan huruf (ال alif lam ma'arifah). Menurut pedoman transliterasi ini, kata sandang ditulis seperti biasa dengan awalan al-, baik ketika diikuti oleh huruf syamsiah maupun huruf qamariah. Kata sandang tidak diucapkan bersamaan dengan bunyi huruf yang mengikutinya. Kata sandang ditulis secara terpisah dari kata berikutnya dan dihubungkan dengan garis mendatar (-).

Contohnya:

البِلاَدُ = al-bilādu

الفَلْسَفَة = al-falsafah

7. Hamzah

Aturan transliterasi huruf hamzah menjadi tanda apostrof (’) hanya berlaku untuk hamzah yang berada di tengah atau di akhir kata. Namun, jika hamzah berada di awal kata, maka tidak dituliskan dalam bentuk tanda apostrof, karena dalam tulisan Arab, huruf hamzah tersebut berupa alif.

Contohnya:

أُمِرْتُ = Umirtu

شَيْءٌ =Syai’un

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur selalu penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia, nikmat, rahmat, dan inayah-Nya yang senantiasa tercurah, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Inovasi Biobriket Berbasis Biochar dari Pirolisis *Fluff* Teh dengan Berbagai Perekat". Skripsi ini disusun berguna memenuhi syarat untuk menyelesaikan Program Studi S1 Kimia FST UIN WALISONGO SEMARANG.

Selama penyusunan dan penulisan skripsi ini, banyak hambatan yang penulis alami. Tetapi atas saran, bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai piihak akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Sehingga dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan hormat dan terima kasih kepada:

1. Kepala Pusat Riset Kimia, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), yang telah memberikan kelancaran dan kemudahan administrasi selama penelitian di BRIN.
2. Koordinator Program Studi Kimia FST UIN Walisongo Semarang yang telah membantu administrasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Dr. Egi Agustian, M.Eng., pembimbing di Pusat Riset Kimia BRIN, dan Prof. Dr. Ir. Anny Sulaswatty, M.Eng., yang telah memberikan dukungan finansial, bimbingan, arahan, saran, dan nasehat bagi penulis dalam penyusunan skripsi.

4. Dr. R. Arizal firmansyah S.Pd., M.Si., dosen pembimbing skripsi di Jurusan Kimia FST UIN Walisongo Semarang, yang telah memberikan bimbingan, saran, masukan, dan arahan kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak dan Ibu Peneliti BRIN yang telah memberikan masukan dan bekal ilmu selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
6. Sanji Firmansyah, Azhar Fawwaz Fauzan, Saeful Mahfut, Bayu Ismuhadi, Pito Pratama, Wan Nurul Fadilah, dan Maisaroh yang selalu memberikan bantuan, dukungan, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi.
7. Semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan semangat kepada penulis dari awal hingga akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis berharap mendapatkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi meminimalisir kekurangan sehingga skripsi menjadi lebih baik. Semoga Skripsi ini senantiasa dapat memberikan informasi dan manfaat bagi Mahasiswa Jurusan Kimia FST UIN Walisongo Semarang dan pihak-pihak lain yang membaca.

Semarang, 16 Juli 2025



Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **i**
PENGESAHAN ..... Error! Bookmark not defined.
NOTA DINAS ..... **iii**
ABSTRAK ..... **v**
TRANSLITERASI ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **xiii**
DAFTAR ISI ..... **xvi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xx**
BAB I PENDAHULUAN **1**
A. Latar Belakang 1
B. Rumusan Masalah 9
C. Tujuan Penelitian 10
D. Manfaat Penelitian 10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **11**
B. Perekat 13
1. Tepung Tapioka 13
2. Tepung Sagu 15
3. Tepung Beras 16
4. Tepung Jagung 17
C. Pirolisis 18
D. Biochar 24
E. Biobriket 25
F. Analisis Pengujian 28

1. Analisis Proksimat 28
2. CHN *Analyzer* 30
3. Analisis nilai kalor (ASTM D2015) 31
4. Analisis Uji Kuat Tekan 32
5. Densitas 33
6. Scanning Electron Microscope (SEM) 33
7. Fourier Transform Infrared (FTIR) 34
8. Analisis termogravimetri 36

G. Pembuatan Biobriket dari Limbah Biomassa 37
H. Keaslian Penelitian Sebelumnya 39
I. Hipotesis 45

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 46

A. Waktu dan Tempat 46
B. Alat dan Bahan 46
1. Alat 46
2. Bahan 49
C. Prosedur Kerja 49
1. Preparasi Bahan Baku 49
2. Pembuatan Biochar 49
3. Pembuatan Biobriket *Fluff* Teh 50
D. Rancangan Penelitian 51
E. Variabel Penelitian 52
F. Prosedur Pengujian 52
1. Kadar Air (SNI 06-3730-1995) 52
2. Kadar Abu (SNl 14-1031-19) 53

3. Volatile matter (SNI 06-3730-1995).....54
2. *Fixed Carbon* (ASTM D 172-13) 55
3. Nilai Kalor (ASTM D 2015) 55
4. Laju Pembakaran.....56
5. Densitas (ASTM B 311-93) 57
6. Kuat Tekan (ASTM D 695) 57
7. Analisis CHN.....58
8. Analisis FTIR 58
9. Analisis SEM.....58
10. Analisis Termogravimetri 58
BAB IV PEMBAHASAN.....60
A. Hasil Pirolisis *Fluff* Teh Terhadap Produksi Biochar 60
B. Perbandingan Antara *Fluff* Teh dan Biochar Hasil Pirolisis 64
1. Hasil Analisis Kadar Air Bahan Baku dan Biochar .65
2. Hasil Analisis Kadar Abu Bahan Baku dan Biochar66
3. Hasil Analisis *Volatile Matter* Bahan Baku dan Biochar 68
4. Hasil Analisis *Fixed Carbon* Bahan Baku dan Biochar 69
5. Hasil Analisis Nilai Kalor Bahan Baku dan Biochar71
C. Perbandingan Uji Proksimat Biochar dan Biobriket..... 72
1. Hasil Analisis Kadar Air Biochar dan Biobriket 72
2. Hasil Analisis Kadar Abu Biochar dan Biobriket ...75
3. Hasil Analisis *Volatile Matter* Biochar dan Biobriket77

4. Hasil Analisis *Fixed Carbon* Biochar dan Biobriket79
5. Hasil Analisis Nilai Kalor Biochar dan Biobriket....80
D. Karakerisasi Lanjut Biobriket 82
1. Hasil Analisis Densitas Biobriket 82
2. Hasil Analisis Laju Pembakaran Biobriket 84
3. Hasil Analisis Uji Kuat Tekan Biobriket.....85
4. Hasil Analisis CHN Bahan Baku dan Biochar dan Biobriket.....87
5. Hasil Analisis FTIR Bahan Baku dan Biochar dan Biobriket.....90
6. Hasil Analisis SEM Bahan Baku, Biochar dan Biobriket 98
BAB V PENUTUPAN 103
A. Kesimpulan..... 103
B. Saran 103
DAFTAR PUSTAKA 105
LAMPIRAN 133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fluff Teh 12
Gambar 2. 2 Struktur Molekul Amilosa..... 14
Gambar 2. 3 Pirolisis 24
Gambar 2. 4 Biobriket Setelah Dicetak 28
Gambar 2. 5 Spektrum FTIR..... 36
Gambar 3. 1 Rangkaian Unit Pirolisis Volume 2500 mL 47
Gambar 3. 2 Alat Hydrolic Hot Press..... 48
Gambar 3. 3 Cetakan Densifikasi Biobriket 48
Gambar 4. 1 Biochar 60
Gambar 4. 2 Hasil Analisis Termogravimetri Fluff Teh..... 61
Gambar 4. 3 Hasil FTIR, A. Fluff Teh (FT), Biochar (BC), Biobriket (BBFT), B. Jenis Perekat 92
Gambar 4. 4 Hasil FTIR Amilosa (α-1,4-glukosidik) 95
Gambar 4.5 Perubahan Struktur Biomassa Menjadi Biochar Setelah Proses Pirolisis 97
Gambar 4. 6 Hasil Analisis SEM Bahan Baku Fluff Teh Sebelum (A), Biochar Fluff Teh (B), dan Biobriket Fluff Teh (C).... 99

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komponen Beras 16
Tabel 2. 2 Baku Mutu Biobriket Arang Kayu SNI 01-6235-2000.. 26
Tabel 2. 3 Penelitan terdahulu biobriket 40
Tabel 3. 1 Matriks Rancangan Percobaan..... 51
Tabel 4. 2 Hasil Proksimat Setiap Pirolisis..... 63
Tabel 4. 3 Hasil Analisis Uji Proksimat Bahan Baku Fluff teh (FT) dan Biochar (BC) 64
Tabel 4. 4 Hasil Kadar Air Terhadap Bahan Baku Fluff Teh (FT) dan Biochar (BC)..... 66
Tabel 4. 5 Hasil Kadar Abu Terhadap Bahan Baku Fluff Teh (FT) dan Biochar (BC) 67
Tabel 4. 6 Hasil Volatile Matter Terhadap Bahan Baku Fluff Teh (FT) dan Biochar (BC) 68
Tabel 4. 7 Hasil Fixed Carbon Terhadap Bahan Baku Fluff Teh (FT) dan Biochar (BC) 70
Tabel 4. 8 Hasil Nilai Kalor Terhadap Bahan Baku Fluff Teh (FT) dan Biochar (BC) 71
Tabel 4. 9 Hubungan Antara Kadar Air Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar..... 73
Tabel 4. 10 Hubungan Antara Kadar Abu Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar..... 75
Tabel 4. 11 Hubungan Antara Volatile Matter Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar 77
Tabel 4. 12 Hubungan Antara Fixed Carbon Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar 79
Tabel 4. 13 Hubungan Antara Nilai Kalor Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar..... 81
Tabel 4. 14 Hasil Analisis Densitas Jenis Biobriket 83

Tabel 4. 15 Hasil Laju Pembakaran Jenis Perekat Biobriket 84
Tabel 4. 16 Hasil Uji Kuat Tekan Jenis Perekat Biobriket 85
Tabel 4. 17 Hasil Analisis CHN Bahan Baku, Biochar, dan Biobriket 88
Tabel 4. 18 Spektra FTIR dan Identifikasi Gugus Fungsi 96
Tabel 4. 19 Gambar Unsur Hasil Analilsis SEM 100
Tabel 4. 20 Perbandingan Hasil Analisis EDX Antara Bahan Baku Fluff Teh..... 101

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan faktor kunci dalam seluruh aktivitas makhluk hidup di bumi. Artinya masyarakat akan mulai mencari sumber energi alternatif pengganti energi dari bahan bakar fosil dan sebagai gantinya terdapat limbah agro industri, limbah pertanian dan limbah perkebunan sebagai gantinya (Iriany,2016). Perkebunan teh adalah salah satu sektor yang berperan dalam menghasilkan biomassa. luas perkebunan terbesar di Indonesia seluas 45.850 ha yang terdiri dari Perkebunan Rakyat (PR), 23.213 ha perkebunan besar negara (PBN), dan 20.914 ha perkebunan besar swasta (PBS) (Tanaman et al. 2019). Pada limbah teh di Jawa Barat cukup berpotensi sebagai bahan baku pembuatan biobriket. Luasnya Perkebunan teh menghasilkan limbah yang cukup banyak (Pradana and Bunyamin 2021). Nilai kalori limbah teh dari 3.000 $kal \cdot g^{-1}$ menunjukkan bahwa limbah teh dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk pembuatan briket (Hardyanti 2019).

Limbah pertanian yang termasuk dalam biomassa merupakan sumber energi alternatif yang cukup banyak dengan kadar energi yang tidak terlalu rendah. Limbah

pertanian tersebut bisa diubah menjadi bahan bakar padat yang bisa digunakan dalam berbagai keperluan sebagai alternatif bahan bakar yang disebut biobriket. Biobriket adalah jenis bahan bakar padat yang mengandung karbon dengan kadar kalor yang tinggi, sehingga bisa terbakar dalam jangka waktu yang lama. (Iriany, 2016). Pada penelitian Prasetia et al. (2025) nilai kalor fluff teh tertinggi yaitu 7609,03 kal/g. maka dari itu lebih terbakar dalam jangka waktu yang lebih lama lagi.

Maha besar Allah SWT dengan segala ciptaan-Nya, karena tidak ada ciptaan-Nya dibuat dengan sia-sia. Pasti selalu memiliki manfaatnya. Sebagaimana dalam firman-Nya dalam surat yasin ayat 80:

الَّذِيْ جَعَلَ لَكُمْ مِّنَ الشَّجَرِ الْاَخْضَرِ نَارًا فَاِذَآ اَنْتُمْ مِّنْهُ تُوْقِدُوْنَ

Artinya: "(Dialah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau. Kemudian, seketika itu kamu menyalakan (api) darinya."

Menurut Tanthawi Jauhari, dalam ayat ini mengisyaratkan ada ilmu sains yang artinya kayu atau pohon hijau. Pada makna tersebut pohon dapat menghasilkan api (Ilham, Khoiriyah, and Afdal 2024).

Biobriket dibuat dari sampah, bahan bakar dengan nilai kalor tinggi yang dapat terbakar dalam waktu yang

sangat lama. Biochar dan pembuatan briket saling terkait dengan erat. Pembuatan Biobriket dapat Dilakukan dengan proses pirolisis terlebih dahulu agar nilai kalornya meningkat secara signifikan (Aini et al. 2023). Perkembangan biobriket di Indonesia banyak menggunakan tempurung kelapa untuk pembuatan biobriket tetapi jika petani kelapa Indonesia hanya memiliki sedikit pohon kelapa, sehingga produksinya rendah dan sulit untuk masuk dalam industri biobriket secara individu (Rahayu Dyah L 2024). Kualitas briket SNI 01-6235-2000 yaitu memiliki Kadar Air ≤ 8%, Kadar Abu ≤ 8% ,Nilai Kalor ≥ 5000 kal/g (Imam Ardiansyah et al. 2022)

Proses pembakaran biomassa kering tanpa paparan udara langsung menghasilkan bioarang yang halus (Herman et al. 2019). Bahan bakar biobriket dibuat dengan karbonisasi limbah biomassa menjadi arang. Arang adalah sumber energi yang lebih baik daripada kayu bakar karena lebih stabil, memiliki kadar air yang lebih rendah, tidak berasap, praktis, dan efisien (Nasrul and Ade 2021). Penggunaan biomassa sebagai alternatif terbarukan dapat memberikan alternatif pengganti bahan bakar fosil yang ketersediannya semakin sedikit seiring berjalannya waktu dan pertumbuhan penduduk. Konversi sumber energi berbasis biomassa dapat terdiri

dari limbah tumbuhan dan hewan atau bahkan dari limbah yang dianggap tidak berguna (Parinduri, 2020). Salah satu diantara pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif terbarukan adalah briket dari fluff teh.

Fluff teh atau limbah pabrik teh adalah limbah yang dihasilkan selama pengolahan di pabrik teh berupa potongan daun dan ranting teh utuh dan tidak lengkap serta dihasilkan pada saat penyortiran pada saat pembuatan teh (Dewi and Wulansari 2023). *Fluff* teh atau limbah pabrik teh adalah limbah yang dihasilkan selama pengolahan di pabrik teh berupa potongan daun dan ranting teh utuh dan tidak lengkap serta dihasilkan pada saat penyortiran pada saat pembuatan teh (Dewi and Wulansari 2023). Ranting, cabang, dan batang teh dapat menghasilkan hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Teh mengandung selulosa (34%), tannin (25%), hemiselulosa dan lignin (14%), dan protein (17%) (Aeni 2022). Pemanasan selulosa dengan temperatur yang cukup tinggi dapat menyebabkan hilangnya atom oksigen dan hidrogen yang menempel pada selulosa sehingga hanya dapat menyisakan atom karbon pada setiap sudutnya (Aini et al. 2023). Menurut Bazenet et al. (2021) hasil analisis FTIR menunjukkan adanya perubahan pada spektrum gelombang pita untuk gugus fungsi O-H, C-H, C=C, dan C=O, yang menunjukkan

adanya dekomposisi komponen kimia akibat proses pirolisis. Gelombang 900-1200 cm^{-1} berhubungan dengan vibrasi gugus C=O yang termasuk dalam kelompok senyawa ester karbonil dan ikatan asetil. Pada vibrasi gugus ini terjadi perubahan dimana pada biobriket biomassa puncak spektra dari curam menjadi lebih landai pada pita gelombang biobriket arang. Perubahan tersebut terjadi karena terjadinya pemutusan ikatan asetil yang merupakan bagian dari ikatan hemiselulosa akibat proses pemanasan. (Bazenet et al. 2021). Berdasarkan hasil analisis CHN yang telah dilakukan Aini (2023) terhadap limbah ranting teh (*Fluff* teh) terdeteksi bahwa limbah ranting teh dapat mengandung karbon sebesar 43,63%. Karbon yang terkandung cukup tinggi ini menjadikan limbah ranting teh berpotensi menjadi sumber energi alternatif berupa biobriket (biobriket padat yang terbuat dari biomassa terkompresi). Pada adanya ukuran partikel pada briket dapat juga mempengaruhi kualitas biobriket.

Ukuran partikel 60 mesh juga dapat mempengaruhi kualitas biobriket. Alfajriandi et al., (2017) telah melakukan penelitian dengan memvariasikan ukuran partikel 0, 20, 40, 60, 80, dan 100 mesh pada arang daun pisang dalam pembuatan biobriket dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa

nilai kalor tertinggi didapatkan pada biobriket tanpa pengecilan ukuran partikel. Sementara itu, pada penelitian Syarief (2020) nilai kalor tertinggi biobriket arang kayu alaban dengan campuran sekam padi pada ukuran partikel 60 mesh yaitu sebesar 5749,99 kal/g. Hasil yang diperoleh dalam penelitian (T Iskandar and Poerwanto 2015) nilai kalor tertinggi didapat pada ukuran partikel 35 mesh dan kuat tekan 6 kg yaitu sebesar 7624.00 kal/gr. Pada penelitian Pamungkas et al., (2023) nilai kalor tertinggi biobriket yang terbuat dari campuran arang sekam padi, dan tempurung kelapa memiliki ukuran partikel 80 mesh dengan nilai kalor sebesar 6319 kal/g. Tidak hanya pada ukuran partikel, tetapi pada pembuatan biobriket membutuhkan perekat untuk memperbaiki pada sifat fisik biobriket. Partikel yang terlalu besar menyebabkan biobriket memiliki pori besar dan rapuh, sedangkan partikel yang terlalu kecil membuat biobriket lebih padat dan kuat, tetapi laju pembakarannya lebih rendah. Berdasarkan sifat fisik, seperti kadar abu, kadar air, dan laju pembakaran, hasil yang diperoleh cukup baik ketika menggunakan ukuran partikel 40 mesh. Namun, masih perlu dikaji lebih lanjut untuk menemukan ukuran partikel yang optimal agar briket yang dihasilkan lebih kuat serta

memiliki nilai kalor dan laju pembakaran yang lebih tinggi. (Kusmartono, Situmorang, and Yuniwati 2021).

Proses pembuatan biobriket dimulai dengan pirolisis untuk meningkatkan nilai kalor, menghasilkan biochar, bio-oil, dan gas (Novita et al., 2021) (Aini et al. 2023). Biochar kemudian dicampur dengan perekat dan dicetak menjadi biobriket. Perekat yang digunakan bisa meningkatkan nilai kalor dan sifat fisik biobriket (Novita et al., 2021).

Pembuatan biobriket biomassa biasanya membutuhkan adanya bahan perekat agar sifat fisik biobriket tersebut meningkat. Dengan menambahkan jumlah bahan perekat yang sesuai, maka nilai kalor, massa jenis, kekuatan tekan, kadar air, dan kadar abu dari biobriket akan naik (Kale et al. 2019). Perekat dapat digunakan salah satunya yaitu tepung terigu, tepung sagu, tepung maizena, tepung beras (Ramadan 2022) (Kale et al. 2019) (Cholilie and Zuari 2021)

Banyaknya penyampuran perekat pada pembuatan briket dapat memengaruhi sifat-sifat briket(Wardani et al. 2023). Menurut penelitian Firdaus et al. (2019) nilai kalor biobriket berhubungan dengan perbandingan massa antara bahan baku , ukuran partikel, dan kuat tekan). Perbandingan struktur hibrida dan nilai kalor cangkang kelapa menggunakan tepung tapioka dan

tambahan air. Penelitian (Fuadi, Lanto, and Asaf 2022) menggunakan bahan dasar sabut kelapa dan perekat lem kopal. Penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan energi biomassa menjadi bahan bakar yang mempunyai nilai ekonomi bagi masyarakat. Tepung maizena memiliki kadar air dan kadar abu yang paling rendah, yaitu 3,5% dan 27,33%. Tepung ini juga memiliki kadar zat terbang dan kadar karbon yang tertinggi, masing-masing sebesar 24,99% dan 44,18%. Selain itu, tepung maizena lebih mudah menyala dengan durasi nyala api sepanjang 292 detik serta memiliki laju pembakaran terlama yaitu 0,147 gram per menit. Tepung maizena memiliki kadar air dan kadar abu yang paling rendah, yaitu 3,5% dan 27,33%. Tepung ini juga memiliki kadar zat terbang dan kadar karbon yang tertinggi, masing-masing sebesar 24,99% dan 44,18%. Selain itu, tepung maizena lebih mudah menyala dengan durasi nyala api sepanjang 292 detik serta memiliki laju pembakaran terlama yaitu 0,147 gram/menit (Cholilie and Zuari 2021). Kadar air dan nilai kalor biobriket batubara pada setiap perlakuan dapat memenuhi persyaratan SNI 01-6235-2000, sedangkan kandungan zat mudah menguap, kadar abu dan kadar karbon lebih sedikit pada standar P1 (5% tapioka) pulp antara + 0 % tepung pati sagu). Menurut A. Ningsih (2019) nilai rata-rata kualitas

biobriket arang tempurung kelapa menggunakan bahan perekat tepung sagu memiliki kadar air sebesar 3,12%, kadar abu sebesar 3,25%, kadar zat menguap sebesar 3,14%, dan kadar karbon terikat sebesar 93,71%. Menurut S. Amrullah (2023) hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks kehancuran mempengaruhi jumlah perekat tepung beras ketan. Nilai tertinggi terdapat pada konsentrasi perekat 5% dengan angka 0,5%, sedangkan nilai terendah ada pada konsentrasi perekat 7% dengan angka 0,11%. Secara statistik, perlakuan variasi perekat menunjukkan perbedaan yang nyata (P-value = 0,29), sehingga dilakukan uji Duncan. Dari hasil uji Duncan, penggunaan perekat 7% dan 0% tidak berbeda nyata (P-value = 0,378), penggunaan perekat 0% dan 3% juga tidak berbeda nyata (P-value = 0,099), serta penggunaan perekat 3% dan 5% tidak berbeda nyata (P-value = 0,540). Namun, penggunaan perekat 7%, 3%, dan 5% menunjukkan perbedaan yang nyata.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh jenis perekat terhadap karakteristik biobriket? Bagaimana pengaruh jenis

perekat terhadap, laju pembakaran, lama pembakaran, dan nilai kalor?

2. Bagaimana pengaruh jenis perekat terhadap karakteristik biobriket?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengevaluasi pengaruh jenis perekat sebagai pengikat terhadap kualitas biobriket.
2. Menentukan kualitas pembakaran biobriket yang dibuat dari biochar *fluff* Teh dengan jenis tepung (tepung tapioka, tepung maizena, tepung beras dan tepung sagu) sebagai perekat.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengurangi limbah biomassa yang bersumber dari pabrik agroindustri pengolahan teh berupa *fluff* teh yang belum dimanfaatkan secara optimal, serta memberikan informasi dan meningkatkan nilai tambah biobriket berbahan dasar *fluff* teh sebagai energi alternatif terbarukan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

A. *Fluff* Teh

Tanaman teh (*Camellia sinensis L.*) adalah tanaman yang tumbuh setiap tahun, biasanya tumbuh di daerah subtropis dan cocok ditanam di kawasan pegunungan. Menurut Direktorat Jendral Perkebunan tahun 2015, proses pengolahan teh secara rata-rata menghasilkan limbah padat sebanyak 400 kg per hari dan sekitar 20 ton per bulan. Mayoritas limbah teh ini biasanya ditumpuk, dibakar, atau dibuang sebagai limbah pertanian. *fluff* teh atau limbah pabrik teh adalah sisa dari proses pengolahan di pabrik, berupa daun teh yang utuh atau tidak utuh serta ranting yang diperoleh dari tahapan sortasi dalam pembuatan teh hijau. (Christy 2023).

Taksonomi tanaman teh dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

Kingdom	: *Plantae*
Subkingdom	: *Tracheobionta*
Super Divisi	: *Spermatophyta*
Divisi	: *Magnoliophyta*
Kelas	: *Magnoliopsida*
Sub Kelas	: *Dilleniidae*
Ordo	: *Tehales*
Famili	: *Theaceae*

Genus : *Camellia*

Spesies : *Camellia Sinensis (L)*



Gambar 2. 1 *Fluff* Teh
(Hainur Aini et al. 2023)

Fluff teh merupakan sisa hasil sortasi dari pabrik pengolahan teh berupa padatan daun teh dan ranting teh yang berbentuk limbah padat utuh maupun tidak utuh terlihat pada Gambar 2. 1 (Dewi and Wulansari 2023). Menurut Wulansari et al., (2021) limbah *fluff* teh yang dihasilkan dari pengolahan pabrik teh dapat mencapai 1-3% dari total produksi teh hijau yang terdiri dari padatan. Sejauh ini, pemanfaatan *fluff* teh hanya sebagai pupuk organik bagi tanaman teh itu sendiri. Hal ini dikarenakan *fluff* teh mengandung mineral-mineral unsur hara esensial yang sangat dibutuhkan bagi tanaman teh. Unsur-unsur mineral tersebut diantaranya yaitu Zn, Se, Ge, Mg, dan N (Dewi & Wulansari, 2023). Teh mengandung selulosa (34%), tannin (25%), hemiselulosa dan lignin (14%), dan protein (17%) (Aeni 2022).

B. Perekat

1. Tepung Tapioka

Tepung tapioka adalah pati yang terdiri dari polisakarida seperti amilosa dan amilopektin. Saat dicampur dengan air, molekul pati akan terdispersi dalam air dan membentuk larutan (Herawati 2012)(Syamsir et al. 2020). Dalam bahasa Sunda, tepung kanji biasanya disebut tepung tapioka atau aci. Karena keduanya berfungsi sebagai pengganti, tepung kanji dan tepung sagu hampir mirip. Tepung kanji dan tepung sagu keduanya dapat merekatkan bahan, menjadikannya perekat yang populer. Tepung kanji berbentuk serbuk putih Karena teksturnya yang kesat, ringan, dan mudah melekat, tepung kanji berbeda saat dirasakan dengan jari. Tepung kanji mudah ditemukan di toko. Tepung kanji dapat digunakan sebagai perekat organik untuk membuat biobriket. Caranya sangat mudah: hanya tambah air pada tepung kanji dan aduk hingga mengental (Moeksin, Febrianti, and Octavirosa 2017).

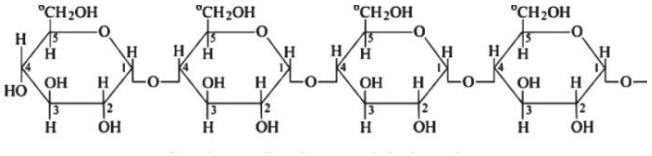
Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi ketika air dan tepung tapioka dicampur:

$C_6H_{10}O_5$ (amilosa) + $H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6$ (maltosa) + H_2O

$C_6H_{10}O_5$ (amilopektin) + $H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6$ (glukosa) + H_2O

(Wijayanti et al. 2021)(Mahfuddara et al. 2023)

Alat cetak dan perekat dapat digunakan untuk membuat biobriket arang. Jenis perekat dan jumlah perekat yang ada pada biobriket mempengaruhi kualitas dan kualitas briket arang. Dua contoh perekat organik yang populer adalah tepung tapioka dan tepung sagu. Tepung pati yang berasal dari tapioka memiliki keuntungan, salah satunya adalah daya rekatnya yang tinggi dan harganya yang terjangkau. Gambar 2. 2 menunjukkan karena kandungan amilosa dan amilopektinnya, pati sagu memiliki potensi tinggi sebagai bahan perekat (Shobar, Sribudiani, and Somadona 2020)



Gambar 2. 2 Struktur Molekul Amilosa
(Noerwijati 2015)

Bila menggunakan perekat sagu, rata-rata massa jenis batu bata yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan getah tapioka. Hal ini disebabkan adanya perbedaan kekuatan rekat kedua jenis perekat tersebut. Perekat dengan daya rekat rendah akan menyebabkan porositas pada biobriket lebih banyak dibandingkan dengan perekat dengan daya rekat yang tinggi, sehingga kepadatan biobriket akan berbeda-beda. Kekuatan adhesi

senyawa organik dipengaruhi oleh kadar amilosa dan amilopektin yang merupakan bagian dari pati, amilosa berguna untuk menimbulkan efek alot sedangkan amilopektin memberikan efek perekat. Kepadatan briket yang menggunakan tepung tapioka lebih tinggi dibandingkan dengan biobriket yang menggunakan ampas sagu karena tepung tapioka lebih banyak mengandung amilopektin yaitu 83% dibandingkan dengan ampas sagu yaitu 73% (Anizar, Sribudiani, and Somadona 2020).

2. Tepung Sagu

Tanaman sagu tumbuh di berbagai daerah di Indonesia, seperti Papua, Sulawesi, Maluku, Riau, dan Kalimantan. Karena itu, tanaman sagu memiliki potensi besar dikembangkan sebagai bahan pangan alternatif. Selain itu, tanaman sagu juga bisa digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat beras analog. (Heryani and Silitonga 2018).

kedudukan taksonomi tanaman sagu adalah sebagai berikut:

Divisi : Spermatophyta
Kelas : Angiospermae
Ordo : Spadicifflorae
Famili : Palmae
Genus : Metroxylon
Spesies : Metroxylon sagus Rottb.

Tanaman sagu yang mirip dengan tanaman kelapa memiliki batang berwarna cokelat dan daun berwarna hijau gelap. Pohon yang sudah dewasa dan tumbuh secara baik, akan memiliki kulit luar yang keras dan membentuk lapisan kayu di sekitar batangnya dengan ketebalan sekitar 2 hingga 4 cm. Tanaman sagu dewasa atau masak tebang (siap panen) berumur 8 sampai 12 tahun (Ruddle 2009).

3. Tepung Beras

Beras adalah komoditas pangan yang sangat penting bagi negara-negara di kawasan Asia, termasuk Indonesia. Sampai saat ini, sekitar 95% penduduk Indonesia masih mengandalkan beras sebagai sumber pangan utama.

Tabel 2. 1 Komponen Beras

Komponen	Jumlah
Kalori (Kal)	364,00
Protein (g)	7,00
Lemak (g)	0,50
Kalsium (mg)	5,00
Fosfor (mg)	140,00
Besi (Mg)	0,80
Vitamin B-1 (g)	0,12
Air (g)	12,00

Sumber : (Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI, 2004)

Komponen utama dalam beras adalah karbohidrat. Karbohidrat ini terdiri dari pati yang merupakan bagian terbesar, sedangkan bagian kecilnya terdiri dari gula, selulosa, hemiselulosa, dan pentosa. Pati dalam beras menyumbang sekitar 85-90% dari berat kering beras, pentosa sekitar 2,0-2,5%, dan gula sekitar 0,6-1,4% dari berat beras yang sudah dihilangkan kulitnya. Maka dari itu, sifat pati memainkan peran penting dalam menentukan sifat fisikokimia beras (Pipit Muliyah et al., 2020).

4. Tepung Jagung

Secara dasar, tepung jagung juga termasuk salah satu jenis pati yang tidak hanya banyak ditemukan di Indonesia, terutama di Sulawesi Selatan, tetapi juga merupakan bahan yang mudah terurai di alam. Hasil dari proses terurainya dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesuburan tanaman, khususnya tanaman umbi-umbian. Dibandingkan dengan sumber pati lainnya, jagung memiliki berbagai jenis pati, mulai dari yang memiliki kadar amilopektin rendah hingga tinggi. Jenis yang biasa digunakan memiliki kandungan amilopektin sekitar 74–76 persen dan amilosa sekitar 24–26 persen. Jika pati tersebut dicampur dengan bahan penguat, maka akan terbentuk suatu biokomposit. Adanya bahan penguat dalam biopolimer tersebut (Haryanto & Titani 2017). Jagung adalah tanaman pertanian yang sangat penting di

Indonesia. Tepung tapioka serta tepung maizena berfungsi sebagai bahan pengikat dan pemanis yang efektif, sehingga sering digunakan dalam pembuatan sup, saus, isi pasta, serta berbagai produk makanan lainnya (Haryanto & Titani 2017).

C. Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan yang tidak mengandung oksigen. Proses dekomposisi selama pirolisis sering disebut dengan degassing. Nitrogen digunakan dalam pirolisis untuk mengeluarkan gas oksigen dari reaktor. Gas nitrogen yang mengalir secara terus menerus ke dalam reaktor pirolisis akan mengeluarkan gas oksigen yang masuk melalui pipa kondensor dan oksigen yang ada di dalam reaktor, skema gambar pirolisis terlihat pada Gambar 2. 3 (Aladin et al,. 2021). Produk utama yang terbentuk selama pirolisis adalah arang (arang), minyak dan gas. Arang yang terbentuk dari dapat digunakan sebagai bahan bakar atau dapat digunakan sebagai karbon aktif. Bio-oil yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan tambahan atau campuran bahan bakar. Sebaliknya gas yang dihasilkan dapat langsung dibakar. Pirolisis biomassa menghasilkan zat baru seperti gas dan arang. Selama proses kondensasi gas yang dihasilkan, dihasilkan minyak, disebut juga bio-oil (Adoe et al. 2016) (Novita et al., 2021).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pirolisis, yaitu:

1. Kadar Air

   Adanya air pada bahan yang akan di pirolisis akan mempengaruhi proses pirolisis karena air pada bahan tersebut akan mengkonsumsi energi untuk menghilangkan air tersebut. Energi luar yang digunakan pada proses pirolisis sebagian digunakan pada proses pengeringan kadar air bahan. Akibatnya bahan dengan kadar air tinggi memerlukan energi lebih besar untuk proses pirolisis. Bahan dengan kandungan air tinggi akan menghasilkan lebih sedikit gas dibandingkan bahan dengan kandungan air rendah untuk energi yang sama.

2. Ukuran Partikel

   Dengan bertambahnya ukuran partikel, hasil padatan juga meningkat, namun hasil gas dan volatil menurun. Fenomena ini disebabkan oleh penurunan suhu di setiap lokasi radial seiring dengan bertambahnya ukuran partikel. Konsentrasi zat dan gas yang mudah menguap meningkat sampai nilai tertentu dan kemudian menurun seiring dengan bertambahnya ukuran partikel. Semakin besar ukuran partikel maka waktu yang diperlukan untuk proses pirolisis

pada suhu tertentu juga semakin meningkat (Chaurisia & Babu, 2005)(Jaswella et al,. 2022)

3. Laju Pemanasan

Menurut Besler & William (1996), jumlah padatan pada proses pirolisis menurun seiring dengan meningkatnya laju pemanasan. Produk gas yang dihasilkan pada suhu antara 200°C dan 400°C adalah CO dan CO_2. Dengan meningkatnya laju pemanasan, gas CO, CO_2, CH_4, CH_4 meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya laju pemanasan, gas hidrokarbon akan dilepaskan, dan dengan meningkatnya laju pemanasan, minyak juga akan meningkat.

4. Suhu

Suhu merupakan faktor penting dalam menghasilkan produk melalui proses pirolisis. Suhu yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak gas. Rendemen minyak meningkat sampai batas tertentu kemudian menurun, sedangkan rendemen padat cenderung lebih rendah. Meningkatnya suhu, nilai kalor hasil gas meningkat, namun hasil padat cenderung tetap (Encinar, 2009).

5. Bahan

Aydinli & Caglar (2010), telah meneliti tentang kulit kemiri dengan plastik, hasil yang diperoleh yaitu dengan peningkatan jumlah plastik didapatkan hasil minyak yang lebih banyak, padatan lebih sedikit, dan hasil gas yang cenderung sama.

6. Komposisi Bahan Uji

Pada setiap penambahan material plastik didalam proses pirolisis menghasilkan suatu peningkatan kandungan hidrogen didalam hasil minyaknya dibandingkan pada proses pirolisis tanpa bahan plastik. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi yang berbeda dari bahan yang diperlukan untuk proses pirolisis menghasilkan hasil kandungan minyak yang berbeda (Bhattacharya, 2009).

7. Laju Nitrogen

Peningkatan dari laju nitrogen menyebabkan penurunan jumlah minyak dan peningkatan jumlah gas, sedangkan hasil padatan sedikit menurun (Encinar, 2009).

8. Waktu Tinggal Padatan

Waktu tinggal padatan mempengaruhi jumlah hasil dari pirolisis karena semakin lama bahan didalam reaktor maka padatan akan

semakin terkomposisi menjadi minyak dan gas (Udyani, Ningsih, and Arif 2018).

Secara umum, pembakaran menggunakan proses pirolisis dilakukan pada temperatur 300ºC selama 4-7 jam. Namun, kondisi ini sangat bergantung pada jenis bahan baku yang digunakan dan cara pembuatan yang dilakukan (Ridhuan et al. 2018). Namun, berdasarkan temperatur penggunaannya, proses pirolisis dapat dibagi menjadi empat macam, yakni

(1) Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolisis*)

Pirolisis lambat yaitu proses yang menggunakan suhu yang rendah dari 400^0C. (Qureshi, Abnisa, and Wan Daud 2019). Menurut Ridhuan et al., (2019) rata-rata pemanasan yang digunakan pada proses pirolisis lambat berkisar antara 5-7 K/menit dengan produk biochar dan gas yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan asap cair.

(2) Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolisis*)

Pirolisis cepat (*fast pyrolisis*) merupakan proses pirolisis yang dilakukan dengan suhu berkisar antara 400-600ºC. Proses pirolisis ini menghasilkan minyak lebih

banyak yakni dapat mencapai 75% daripada proses pirolisis konvensional (Ridhuan et al., 2019).

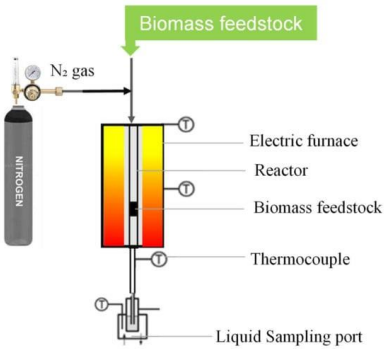
(3) Pirolisis Sangat Cepat (*Flash Pyrolisis*)

Pirolisis sangat cepat/pirolisis kilat (*flash pyrolisis*) merupakan proses pirolisis dengan suhu pemanasan yang sangat tinggi. Namun, proses ini dapat berlangsung sangat cepat atau bahkan hanya dalam hitungan detik dengan ukuran partikel yang sangat kecil (105-250 μm) (Ridhuan et al., 2019). Menurut Novita et al., (2021) suhu yang digunakan pada *flash pyrolisis* > 600^{o}C dengan laju pemanasan mencapai 1000^{o}C/menit. Proses pirolisis ini lebih banyak menghasilkan gasa dibandingkan dengan asap cair dan biochar.

(4) Torefaksi

Torefaksi merupakan jenis pirolisis yang menjanjikan karena dapat meningkatkan kualitas biomassa padat sebagai bahan bakar (Hidayat et al., 2020) . Suhu yang digunakan berkisar antara 200-300^{o}C dengan sedikit atau ketiadaan oksigen

dengan produk biochar yang dihasilkan kaya akan karbon (Nachenius et al. 2013). Sebagai contoh, kualitas palet yang dihasilkan dari proses torefaksi mengalami peningkatan dibandingkan dengan tanpa proses torefaksi (Mauritio, Riniarti, and Hidayat 2022).



Gambar 2. 3 Pirolisis
(A. Amrullah et al. 2022)

D. Biochar

Biochar atau bioarang adalah salah satu produk sampingan berupa padatan yang dihasilkan dari proses pirolisis dan memiliki karakteristik berwarna kehitaman yang dihasilkan dari biomassa maupun limbah organik seperti limbah pertanian, perkebunan, kehutanan ataupun limbah kota. Biochar dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan bio-briket dikarenakan memiliki kadar karbon dan nilai kalor yang tinggi serta nyala api

yang tahan lama (Yanti, Ratnaningsih, and Ikhsani 2022b). Kualitas biochar sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku biomassa, temperatur pirolisis dan waktu pirolisis. Biochar yang menyerupai batu bara, berwarna hitam, ringan dan mudah hancur memiliki kandungan karbon yang berkisar antara 85%-98% (Ridhuan et al., 2018).

E. Biobriket

Biobriket merupakan suatu padatan yang dihasilkan melalui proses pemampatan atau pemberian tekanan, apabila dibakar akan menghasilkan sedikit asap. Adapun salah satu kelebihan biobriket tampak pada proses pembuatannya yang tidak terlalu sulit serta bahan baku pembuatan biobriket dapat dibuat dari bahan-bahan yang ada di lingkungan sekitar. Biobriket merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah, contoh terlihat pada **Error! Reference source not found.**. Terdapat 4 jenis biobriket yakni biobriket biomassa, biobriket Batubara, biobriket bioarang, dan biobriket gambut (Nasution and Simbolon 2022). Biobriket merupakan suatu produk yang dihasilkan dari pengolahan arang biomassa sebagai bahan bakar alternatif yang bersumber dari biomassa pertanian dan perkebunan limbah sisa produksi agroindustri yang dibiarkan begitu saja dan dianggap tidak memiliki nilai

guna, contohnya seperti tempurung kelapa, sekam padi, tandan kosong kelapa sawit, dan sebagainya.

Penggunaan biobriket biomassa memiliki beberapa kelebihan, yakni dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif terbarukan dengan harga terjangkau tetapi terkonsentrasi, bersifat ramah lingkungan karena menghasilkan emisi asap yang rendah, lebih mudah disimpan dan dibawa karena memiliki kepadatan yang tinggi, serta memiliki laju pembakaran yang stabil, terkontrol dan tahan lama dibandingkan dengan biomassa lepas (Bhuyan 2021). Selain itu, biobriket juga menghasilkan sifat yang mudah menyala, tidak menimbulkan gejala, dan memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, terlihat pada Tabel 2. 2 (Vachlepi and Suwardin 2013).

Tabel 2. 2 Baku Mutu Biobriket Arang Kayu SNI 01-6235-2000

No	Jenis Uji	Persyaratan
1	Kadar Air (%b/b)	≤ 8%
2	Kadar Abu (%b/b)	≤ 8%
3	Kadar zat terbang (%b/b)	≤ 15%
4	Nilai Kalor (kal/g)	≥ 5000 kal/g

Beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam pembuatan biobriket, yaitu ukuran partikel, tingkat

pengepresan dan kadar air. Ukuran partikel, memberikan pengaruh pada daya rekat antar partikel dengan bahan perekat, dan nilai densitas. Semakin kecil ukuran partikel, maka daya rekat antar partikel dengan bahan perekat akan semakin kuat, dan semakin homogen partikel penyusun biobriket, maka keteguhan tekan biobriket akan semakin baik (Setiowati & Tirono, 2014). Densitas dan keteguhan biobriket juga dipengaruhi oleh tekanan pengepresan (Afriani, Yufita, and Nurmalita 2017). Semakin besar tekanan pengepresan, biobriket yang dihasilkan semakin rapat, sehingga pori-pori pada biobriket akan semakin kecil dan waktu pembakaran biobriket akan semakin lama, begitupun sebaliknya (Aisyah, and Satya 2017). Kualitas biobriket akan berkurang jika nilai kalor yang didapatkan rendah (Koto et al. 2019). Nilai kalor pada biobriket dapat dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu, dan kadar karbon terikat. Rendahnya kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap dapat meningkatkan nilai karbon, dan semakin tinggi kadar karbon pada biobriket, maka akan semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan (Eka Putri and Andasuryani 2017).



Gambar 2. 4 Biobriket Setelah Dicetak
(H. Wahyuni et al. 2022)

F. Analisis Pengujian

1. Analisis Proksimat

Analisis proksimat adalah metode standar yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia dasar suatu bahan, seperti makanan, pakan, biomassa, atau briket. Analisis ini memberikan informasi tentang proporsi komponen utama dalam sampel, seperti kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap, dan karbon tetap.

a. Analisis Kadar Abu (SNl 14-1031-19)

Mengukur jumlah residu mineral (bahan anorganik) yang tersisa setelah pembakaran lengkap biobriket pada suhu tinggi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kadar abu dalam biobriket penting untuk menilai kualitasnya sebagai bahan bakar (Gebrehiwot et al., 2019). Kadar abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor, mempersulit penyalaan, mengurangi efisiensi pembakaran, dan menghasilkan banyak

sisa pembakaran yang harus dibuang (Ab Jalil et al., 2022). Abu juga mempengaruhi performa briket dalam aplikasi pembakaran karena tingginya kandungan mineral yang tidak terbakar (Soeherman et al., 2023) (Hainur Aini et al. 2023)

b. Analisis Kadar Air Biobriket (SNI 06-3730-1995)

Mengukur jumlah air yang terkandung dalam biobriket. Kadar air sangat mempengaruhi kualitas dan performa biobriket (Yirijor & Bere, 2024). Biobriket dengan kadar air tinggi memiliki nilai kalor yang lebih rendah, sulit untuk dinyalakan, menghasilkan banyak asap saat dibakar, dan membutuhkan lebih banyak energi untuk pengeringan (Senila et al., 2022). Kadar air juga mempengaruhi kerapatan, ketahanan, dan masa simpan biobriket (Soeherman et al., 2023a). Biobriket dengan kadar air tinggi cenderung kurang stabil dan rentan mengalami dekomposisi atau perubahan struktur (Hainur Aini et al. 2023)

c. Analisis Kadar Zat Terbang (SNI 06-3730-1995)

Mengukur komponen volatil dalam biobriket, yaitu zat-zat yang dapat menguap saat biobriket dipanaskan pada suhu tinggi. Bertujuan

untuk mengetahui kadar zat terbang penting untuk menilai efisiensi dan karakteristik pembakaran biobriket. Tingginya persentase zat terbang biasanya menunjukkan bahwa biobriket mudah dinyalakan dan menghasilkan nyala api yang cepat. Namun, kadar zat terbang yang tinggi juga dapat menyebabkan peningkatan produksi asap selama pembakaran. Kandungan zat terbang dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan baku, dan tingginya kadar zat terbang juga mencerminkan proporsi bahan organik dalam biobriket (Hainur Aini et al. 2023).

Dengan melakukan analisis proksimat, dapat diperoleh gambaran umum tentang kualitas bahan bakar biobriket dan bagaimana karakteristik fisika-kimianya dapat mempengaruhi penggunaannya dalam berbagai aplikasi energi.

2. CHN *Analyzer*

Analisa CHN merupakan salah satu analisis yang digunakan untuk mengetahui kadar karbon (C), hidrogen (H), dan nitrogen (N) yang terdapat pada suatu sampel. Prinsip kerja dari CHN *Analyzer* yaitu membakar suatu sampel dengan temperatur yang tinggi dalam aliran oksigen (O). Akibatnya, seluruh hidrogen (H) diubah

menjadi uap air (H_2O), dan seluruh karbon (C) diubah menjadi karbondioksida (CO_2) dan kemudian ditangkap oleh detektor *infrared* sehingga kandungan karbon (C) dan hidrogen (H) dapat dibaca. Adapun penentuan kadar nitrogen dapat diketahui dengan menggunakan *Tehrmal Conductivity Detector* (TCD) pada alat yang sama. TCD inilah yang kemudian menangkap kadar nitrogen dalam nitrogen oksida (Siahaan 2018).

3. Analisis nilai kalor (ASTM D2015)

Pengujian nilai kalor terhadap Biobriket bertujuan mengetahui sejauh mana pada nilai panas pembakaran yang dihasilkan oleh 30 Biobriket, karena nilai kalor sangat menentukan kualitas Biobriket. Semakin tinggi nilai kalor suatu Biobriket, maka semakin baik pula kualitas dari Biobriket tersebut (Almu et al., 2014). Nilai kalor atas (Gross higher heating value) HHV, didefenisikan sebagai panas yang dilepaskan dari pembakaran sejumlah kuantitas unit bahan bakar (massa) di mana produknya dalam bentuk abu, gas CO_2, SO_2, Nitrogen dan air, dan tidak termasuk air yang menjadi uap. Apabila bahan bakar padat telah dilakukan analisis ultimasi untuk menentukan kandungan karbon, hidrogen, sulfur dan oksigen, maka secara empirik nilai kalor HHV dapat dihitung dengan formula Dulong (Hainur Aini et al. 2023).

$$HHV = 14{,}544\ C + 62{,}023\ [H_2 - (O_2 / 8)] + 4050\ S$$

$$LHV = HHV - 1030(H_2 \times 8{,}94)$$

Di mana :

HHV = nilai kalor atas , Btu/lb

C = massa carbon, %

H_2 = massa hydogen, %

S = massa sulfur, %

O_2 = massa oksigen, %

LHV = nilai kalor bawah, Btu/lb

.

4. Analisis Uji Kuat Tekan

Analisis Uji Kuat Tekan biobriket adalah proses untuk mengukur ketahanan biobriket terhadap tekanan atau benturan fisik. Uji kuat tekan merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kualitas biobriket, karena uji kuat tekan yang memadai memastikan bahwa biobriket dapat menahan penanganan, transportasi, dan penyimpanan tanpa hancur atau terpecah (Yahya et al., 2023). Proses analisis uji kuat tekan biasanya melibatkan pengujian biobriket dengan menggunakan alat uji kuat tekan, di mana biobriket diberikan beban tertentu hingga terjadi kerusakan atau perubahan bentuk. Uji kuat tekan biobriket dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jenis bahan baku, ukuran partikel, kadar air, dan jenis serta

jumlah perekat yang digunakan. Biobriket yang keras cenderung memiliki kerapatan yang lebih tinggi dan kualitas pembakaran yang lebih baik, karena partikel-partikel di dalamnya lebih erat terikat satu sama lain (Yahya et al., 2023).

5. Densitas

Analisis densitas biobriket adalah proses untuk menentukan massa per satuan volume biobriket. Densitas adalah salah satu parameter penting dalam evaluasi kualitas biobriket karena mempengaruhi karakteristik pembakaran, kekuatan fisik, dan penyimpanan biobriket. Dalam analisis densitas biobriket, massa biobriket diukur terlebih dahulu, kemudian volumenya dihitung. Densitas dapat dinyatakan dalam satuan gram per sentimeter kubik (g/cm^3) atau kilogram per meter kubik (kg/m^3) (Sanka et al., 2024). Densitas yang lebih tinggi biasanya menunjukkan biobriket yang lebih padat dan kuat, yang dapat memberikan waktu pembakaran yang lebih lama dan stabil. Selain itu, densitas juga mempengaruhi efisiensi penyimpanan dan transportasi, karena biobriket dengan densitas tinggi memerlukan ruang yang lebih sedikit (Sanka et al., 2024).

6. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan salah satu pembesaran yang memanfaatkan berkas

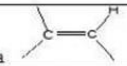
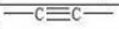
elektron untuk mendapatkan informasi mengenai topografi permukaan, morfologi, dan komposisi sampel. Pada dasarnya prinsip mikroskop elektron sama dengan mikroskop cahaya. Namun, mikroskop elektron lebih memfokuskan berkas elektron dibandingkan dengan foton dengan tujuan untuk memperbesar suatu objek. Perbesaran gambar pada SEM bisa mencapai 10 nm. Dibandingkan dengan TEM, resolusi yang dihasilkan lebih tinggi dengan gambar permukaan yang lebih detail (Choudhary and Priyanka 2017). Analisis SEM juga dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang struktur mikro, densitas, porositas, retakan permukaan ataupun mendeteksi lokasi kegagalan permukaan sampel (Inkson 2016). Secara garis besar, perangkat-perangkat SEM dikelompokkan kedalam tiga komponen, yakni (1) komponen pemindai, (2) komponen penyajian gambar dan data, dan (3) komponen pendukung (Masta 2020).

7. Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah suatu instrumen spektroskopi yang digunakan untuk mengetahui spektrum vibrasi molekul dan mampu mendeteksi atau memprediksi struktur molekul senyawa kimia melalui identifikasi gugus fungsi contoh pada Gambar 2. 5. Metode yang digunakan pada spektroskopi ini adalah metode spektroskopi absorbsi yang didasarkan

pada perbedaan penyerapan radiasi inframerah oleh molekul suatu materi (Ritonga, Ramadhan, and Khuzaimah 2022). Pada pengukuran spektrum menggunakan FTIR terdapat tiga teknik pengukuran sampel yang umum digunakan, yaitu PAS (*Photoacoustic Spectroscopy*), ATR (*Attenuated Total Reflectance*), dan DRIFT (*Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform*) (Rohman 2021). Karakterisasi FTIR dilakukan dengan cara menganalisis spektra yang dihasilkan sesuai dengan puncak-puncak yang dibentuk oleh suatu gugus fungsi. Prinsip kerja dari spektroskopi FTIR adalah adanya interaksi antara energi dengan materi (Wulandari et al., 2022). Energi yang diserap oleh sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah direkam dan diteruskan menuju *interferometer*. Sinar pengukuran suatu sampel kemudian diubah menjadi *interferogram*, dan selanjutnya dilakukan perhitungan secara matematis hingga diperoleh spektra yang identik. Apabila suatu frekuensi tertentu dari suatu radiasi inframerah dilewatkan pada suatu sampel senyawa organik, maka pada spektroskopi FTIR terjadi absorbansi frekuensi oleh senyawa tersebut. Absorbansi yang terjadi pada FTIR menghasilkan suatu spektra dalam bentuk grafik yang menampilkan nilai

transmitansi bervariasi pada setiap radiasi inframerah (Damayanti, Trisnawati, and Suyanto 2021).

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah frekuensi (cm^{-1})	Intensitas
C - H	Alkana	2850 – 2970 1340 - 1470	Kuat Kuat
C - H	 Alkena	3010 – 3095 675 - 995	Sedang Kuat
C - H	Alkuna 	3300	Kuat
C - H	Cincin Aromatik	3010 – 3100 690 – 900	Sedang Kuat
O - H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	3590 – 3650 3200 – 3600 3500 – 3650 2500 - 2700	Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar Sedang Melebar
N - H	Amina, Amida	3300 – 3500	Sedang
C=C	Alkena	1610 – 1680	Berubah-ubah
C=C	Cincin Aromatik	1500 – 1600	Berubah-ubah
C≡C	Alkuna	2100 – 2260	Berubah-ubah
C - N	Amina, Amida	1180 – 1360	Kuat
C≡N	Nitril	2210 – 2280	Kuat
C – O	Alkohol, Eter, Asam Karborsilat, Ester	1050 – 1300	Kuat
C=O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690 – 1760	Kuat
NO₂	Senyawa Nitro	1500 – 1570	Kuat

Gambar 2. 5 Spektrum FTIR

(Skoog et al., 1998)

8. Analisis termogravimetri

Analisis termogravimetri (TGA) adalah teknik analisis yang digunakan untuk mengukur perubahan massa suatu bahan sebagai fungsi dari suhu atau waktu dalam kondisi atmosfer tertentu. Teknik ini sangat berguna untuk mempelajari sifat termal dan stabilitas bahan, termasuk

biobriket (Senila et al., 2022). Analisis termogravimetri biobriket, perubahan massa biobriket diukur saat dipanaskan secara bertahap dalam lingkungan yang terkendali. Proses ini melibatkan pemanasan biobriket dengan laju pemanasan tertentu, sering kali dalam rentang suhu yang luas, dari suhu kamar hingga beberapa ratus derajat celsius. Selama pemanasan, perubahan massa biobriket dicatat secara terus-menerus, yang dapat diakibatkan oleh penguapan air, pelepasan zat volatil, dekomposisi bahan organik, dan pembentukan residu abu (Hainur Aini et al. 2023).

G. Pembuatan Biobriket dari Limbah Biomassa

Alfajriandi et al., (2017) memanfaatkan arang daun pisang dengan variasi ukuran partikel 0, 20, 40, 60, 80, dan 100 mesh dengan perekat tapioka 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel, nilai kalor yang didapatkan semakin rendah. Nilai kalor tertinggi didapatkan pada biobriket dengan ukuran partikel 0 atau tanpa pengecilan ukuran yakni sebesar 5,030 kal/g.

Rahmadani et al., (2017) memvariasikan arang daun kelapa sawit dan perekat pati sagu dengan konsentrasi 97%:3%; 96%:4%; 95%:5%; 94%:6% dan 93%:7%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi terbaik didapatkan pada briket dengan

campuran arang daun kelapa sawit sebesar 97% dan perekat pati sagu sebesar 3% dengan kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon, nilai kalor dan laju pembakaran yang dihasilkan yaitu 3,21%, 21,40%, 20,73%, 54,66%, 5,114 kal/g dan 22×10^4 g/detik. Penambahan konsentrasi perekat pada biobriket arang daun kelapa sawit dapat menurunkan nilai kalor briket.

Efelina et al., (2018) memanfaatkan limbah kulit durian dan perekat tepung kanji dalam pembuatan biobriket dengan penambahan pencelupan pada minyak jelantah dan tanpa pencelupan minyak jelantah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kadar air yang diperoleh pada biobriket mengalami penurunan setelah dilakukan pencelupan pada minyak jelantah, yakni dari 11,93% menjadi 9,37%, sedangkan nilai kalor pada biobriket mengalami peningkatan yakni dari 5076,99 kal/g menjadi 5655,23 kal/g.

Shobar et al., (2020) telah melakukan penelitian dengan memvariasikan konsentrasi perekat tapioka dan perekat sagu dengan rasio 5%:0%, 0%:5%, 3%:2%, 2,5%:2,5% dan 2%:3% pada briket arang kulit buah pinang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi perekat tapioka, nilai kadar karbon terikat dan nilai kalor semakin tinggi, sedangkan kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap semakin

rendah. Dengan kata lain, perbedaan bahan perekat dan jumlah konsentrasi perekat dapat mempengaruhi kualitas mutu biobriket.

H. Keaslian Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang biobriket sudah banyak dilakukan sebelumnya menggunakan limbah pertanian seperti bawang merah, ampas kopi, bonggol maizena, tempurung kelapa, kayu trembesi dan yang lainnya, akan tetapi pembuatan biobriket dengan menggunakan limbah *Fluff* teh menggunakan perekat tapioka merupakan inovasi pemanfaatan limbah *Fluff* teh menjadi biobriket.

Penelitian sebelumnya mengenai biobriket yang menggunakan perekat tapioka, variasi tekanan dan ukuran partikel ditampilkan pada Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Penelitan terdahulu biobriket

No	Peneliti	Judul penelitian	Hasil
1.	(Kusmartono et al., 2021)	Pembuatan Briket Dari Tempurung Kelapa (Cocos Nucivera) Dan Tepung Terigu	Hasil yang cukup baik pada penggunaan ukuran partikel arang 40 mesh dan konsentrasi perekat 3%. Dengan kondisi tersebut diperoleh briket dengan kadar air 1,71%, kadar abu 1,5 % dan laju pembakaran 0,054 gram/menit.
2.	(Cholilie and Zuari 2021)	Pengaruh Variasi Jenis Perekat terhadap Kualitas Biobriket Berbahan Serabut dan Tandan Buah Lontar (Borassus flabellifer L.)	Hasil penelitian menunjukan bahwa - Nilai pengujian nyalai api paling mudah menyala yaitu pada biobriket perekat tepung maizena sebesar 4 menit 52 detik - Nilai pengujian laju pembakaran paling lama dalam pembakarannya adalah jenis perekat tepung maizena sebesar 0,116
3.	(Ariwidyanata et al. 2019)	Karakteristik Fisik Briket dari Campuran Serbuk Teh dan Serbuk Kayu Trembesi	nilai kalor, laju pembakaran, kerapatan massa. Rata-rata terbaik parameter pengujian yaitu kadar air 5,67%, laju pembakaran 0,490 g/menit, kerapatan

		(Samanea Saman) dengan Perekat Tepung Tapioka	massa 0,72 g/cm3, kadar abu 4,3%, nilai kalor 3845,733 kal/g.
4.	(Pratama, Shadewa, and Muhyin 2018)	Pengaruh Komposisi Bahan Dasar dan Variasi Jenis Perekat Terhadap Nilai Kalor, Kadar Air, Kadar Abu pada Briket Campuran Sekam Padi dan Tempurung Kelapa	Komposisi briket yang terbaik yaitu pada sekam padi 45%, tempurung kelapa 45%, tepung tapioka 10% dengan kandungan nilai kalor 5256,48% kal/gr, kandungan air 6,2697%, dan kandungan kadar abu sebesar 18,2608%. Sehingga setelah dibandingkan dengan standar SNI dari briket.
5.	(Wardani et al. 2023)	Pengaruh Jumlah Perekat Tepung Tapioka terhadap Campuran Briket Arang Bambu Dan Arang Tempurung Kelapa	Hasil pengamatan dari penelitian ini diperoleh nilai kadar air terkecil dihasilkan oleh komposisi kadar perekat 5% sebesar 5,447%, nilai kadar abu terkecil dihasilkan pada komposisi kadar perekat 5% sebesar 3,024%, laju pembakaran terlama pada komposisi kadar perekat 15% sebesar 0.165 g/s, suhu tertinggi dihasilkan oleh komposisi kadar perekat 15% sebesar 287,492 °C, dan nilai kalor tertinggi dihasilkan oleh komposisi kadar perekat

			10% sebesar 6434,245 kal/gram. Komposisi briket arang bambu dengan arang tempurung kelapa terbaik yaitu pada kadar perekat 10%
6	(Hainur Aini et al. 2023)	Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Karakteristik Biochar dari Limbah Padat Agroindustri Teh	Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah ranting dan *Fluff* teh memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi daripada limbah daun teh sehingga lebih berpotensi diolah menjadi bahan bakar. Kualitas biochar ranting teh lebih baik daripada biochar *Fluff* teh karena karakteristik biochar ranting teh rata-rata lebih memenuhi syarat biochar yang baik menurut SNI 1683 2021 dibanding biochar *Fluff* teh.
7	(Nisavira, Agustian, Al Muttaqii, et al. 2023)	Characteristics of Biochar from Pyrolysis of Solid Waste hydrodistillation of Cardamom Seed Oil (Amomum Cardamomum)	Hasil uji CHN menunjukkan adanya perubahan yang signifikan setelah pirolisis biji dan kulit biji kapulaga, dimana kadar C sebesar 64,43 wt.% dan 48,94 wt.%, kadar H sebesar 3,98 wt.% dan 2,97 wt.%, serta N sebesar 2,96 wt.% dan 1,29 wt. %. Analisis FTIR menghasilkan puncak baru pada rentang panjang

			gelombang 1919 cm.-1sampai 2170 cm-1(gugus fungsi senyawa organik C≡C (alkuna)). Dari hasil SEM-EDX, terlihat perbedaan yang sangat signifikan pada perbesaran 1500 x untuk biji kapulaga (C berubah dari 62,73 wt.% menjadi 67,10 wt.%) dan sekam (C berubah dari 48,25 wt. % menjadi 68,18 wt.%) limbah biochar. Dari hasil tersebut, kandungan karbon yang melimpah merupakan sisi aktif dari biochar, sehingga memungkinkan biochar limbah kapulaga untuk diaplikasikan sebagai biobriket
8	(Haryanti et al. 2023)	Manufacture of Biobriquettes from Alaban (Vitex pubescens) Biomass Waste and Rubber Seed Shells using Damar Resin Adhesive	nilai kalor yang melebihi 5.000 kal/g, briket berbasis limbah ini memenuhi standar nasional untuk briket komersial dan diharapkan dapat berfungsi sebagai bahan bakar alternatif terbarukan, yang mengatasi berbagai tantangan lingkungan.

9	(Prasetia et al. 2025)	Bio-briquettes from tea fluff biochar: a response surface methodology study on particle size, resin gum-adhesive, and used cooking oil immersion time	Hasil menunjukkan optimal kondisi biobriket bulu teh adalah ukuran partikel biochar 850 μm, konsentrasi perekat resin gum 11%.

I. Hipotesis

Berdasarkan kajian teori dan kajian penelitian yang relevan dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

1. Jenis Perekat yang digunakan memengaruhi kualitas biobriket berbasis biochar dari *fluff* tef, termasuk karakterisasinya.
2. Jenis perekat dengan konsentrasi digunakan berpengaruh signifikan terhadap kualitas biochar *fluff* teh, seperti nilai kalor, kadar abu, kekuatan mekanik, dan durasi pembakaran.
3. Penambahan perekat memengaruhi efisiensi pembakaran biobriket berbasis biochar dari *fluff* teh.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan terhitung dari bulan September 2024-Maret 2025 di Pusat Riset Kimia, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), KST BJ. Habibie, Tangerang Selatan.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain reaktor pirolisis kapasitas 2,5 L pada Gambar 3. 1, grinder, mortar dan alu, unit *sieve shaker* dengan ukuran 850 mikron, timbangan digital, gelas beaker, spatula, cetakan briket seperti Gambar 3. 3, *hot hydraulic press seperti* Gambar 3. 2*,* cawan petri, cawan *crucible*, desikator, *furnace*, *tray dryer*, *moisture analyzer, bomb calorimeter,* instrumen CHN 628 merk LECO, Autograph AG-Xplus 50 kN Shimadzu, instrumen FTIR (*Fourier Transform Infrared*) Ruker Tensor II dengan *software* Opus 8.0, dan instrumen SEM merk Hitachi SU3500.



Gambar 3. 1 Rangkaian Unit Pirolisis Volume 2500 mL
(Pusat Riset Kimia, 2023)

Keterangan :

1. Reaktor pirolisis
2. *Ice bath*/kondensor
3. Pendeteksi gas N_2
4. Tabung Gas N_2
5. Indikator
6. Pemanas gas N_2
7. Kontrol panel



Gambar 3. 2 Alat Hydrolic Hot Press

Sumber: Pusat Riset Kimia



Gambar 3. 3 Cetakan Densifikasi Biobriket

Sumber: Pusat Riset Kimia

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *fluff* teh yang diambil dari Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) – Gambung, Ciwidey, Bandung, Jawa Barat, tepung tapioka, tepung beras, tepung sagu, tepung maizena (maizena), aquades, gas nitrogen, dan aseton (teknis).

C. Prosedur Kerja

1. Preparasi Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah padat hasil agroindustri pabrik pengolahan teh yaitu *fluff* teh. Bahan baku *fluff* teh dipisahkan terlebih dahulu dari pengotor kemudian dikeringkan dalam *tray dryer* dengan suhu 50^{o}C selama 2×24 jam. Bahan baku *fluff* teh yang sudah kering, kemudian diayak hingga didapatkan ukuran 8 mesh, dan selanjutnya dilakukan pengujian kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon*, nilai kalor dan analisis CHN.

2. Pembuatan Biochar

Pembuatan biochar dilakukan dengan menggunakan metode pirolisis. Bahan baku *fluff* teh 8 mesh dimasukkan terlebih dahulu ke dalam *bucket*, kemudian *bucket* dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis dan reaktor ditutup rapat agar tidak ada udara yang masuk. Suhu pirolisis diatur menjadi 300^{o}C dengan waktu proses

selama 70 menit. Pemilihan suhu dan waktu pirolisis didasarkan dari hasil optimasi proses pirolisis yang telah dilakukan oleh (Hainur Aini et al. 2023) sebagai tahap pendahuluan. Biochar hasil proses pirolisis kemudian dianalisis untuk mengetahui kadar air, kadar abu, kadar *volatile matter*, *fixed carbon*, nilai kalor, dan kandungan CHN.

3. Pembuatan Biobriket *Fluff* Teh

Pembuatan biobriket dilakukan dengan mengikuti rancangan penelitian yang telah dibuat. Biochar hasil proses pirolisis dikecilkan ukurannya menjadi ukuran yakni 500 mikron atau 35 mesh. Biochar kemudian dicampurkan dengan perekat tepung tapioka dengan berat total sebesar 3,5 gram. Perekat tapioka dibuat dengan mencampurkan serbuk tepung tapioka dan air. Campuran biochar dan perekat tepung tapioka diaduk hingga merata, kemudian dicetak menggunakan mesin *hydraulic hot press* dengan tekanan pengepresan 2 MT, suhu pengepresan 100^{o}C dan waktu pengepresan 1 menit (diulangi dengan perekat lainnya). Biobriket yang sudah dicetak kemudian dikeringkan dalam oven selama 12 jam dengan suhu 50^{o}C. Setelah semua tahapan selesai dilakukan, biobriket dikarakterisasi untuk mengetahui kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon*, nilai

kalor, laju pembakaran, densitas, kuat tekan, CHN, FTIR, dan SEM.

D. Rancangan Penelitian

Formulasi rancangan penelitian biobriket *fluff* teh untuk mengetahui perekat dengan konsentrasi berapa yang menghasilkan biobriket yang lebih baik yakni perekat (tepung sagu, tepung tapioka, tepung beras, tepung maizena), konsentrasi perekat (5%, 10%, dan 15%), seperti yang disajikan pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Matriks Rancangan Percobaan

Partikel Size (Mesh)	Partikel Size (μm)	Perekat	Konsentrasi
35	500	Tapioka	5%
35	500	Tapioka	10%
35	500	Tapioka	15%
35	500	Maizena	5%
35	500	Maizena	10%
35	500	Maizena	15%
35	500	Beras	5%
35	500	Beras	10%
35	500	Beras	15%
35	500	Sagu	5%
35	500	Sagu	10%
35	500	Sagu	15%

E. Variabel Penelitian

1. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon*, nilai kalor, laju pembakaran, densitas, dan kuat tekan.
2. Variabel Tetap
   b. Suhu pirolisis: 300ºC
   c. Waktu pirolisis: 70 menit
   d. Aliran gas pirolisis: 5 mL/menit
   e. Ukuran bahan baku *fluff* teh: 8 mesh
   f. Ukuran biochar: 35 mesh
   g. Temperatur pengepresan: 100ºC
   h. Waktu pengepresan: 1 menit
   i. Suhu pengeringan: 50ºC
   j. Waktu pengeringan: 6 jam, 12 jam, dan 2×24 jam
   k. Tekanan *Hydraulic Press*: 2 MT
3. Variabel Bebas
   ∉ Konsentrasi perekat: 5%, 10%, dan 15%.
   ∉ Jenis perekat: Tepung tapioka (Cap pak TANI gunung), tepung sagu (engKa), tepung maizena (Maizenaku), tepung beras (rose brand)

F. Prosedur Pengujian

1. Kadar Air (SNI 06-3730-1995)

Kandungan air dalam biobriket berpengaruh pada kualitas biobriket. Kadar air yang lebih tinggi pada biobriket dapat menyebabkan biobriket sulit dinyalakan

saat digunakan, dan kadar air yang lebih tinggi pada biobriket akan menyebabkan biobriket menjadi lebih buruk (Irmawati 2020). Pengujian kadar air dilakukan menggunakan alat *moisture analyzer* dengan cara sampel uji ditimbang dalam cawan aluminium sebanyak 0,5 gram. Selanjutnya suhu diatur menjadi 110ºC dan waktu proses 10 menit. Setelah pengujian selesai, didapatkan nilai kadar air yang tampil pada alat *moisture analyzer* (Hainur Aini et al. 2023).

2. Kadar Abu (SNl 14-1031-19)

Kadar abu adalah komponen yang tersisa dari hasil pembakaran; dalam hal ini, abu yang dimaksud adalah abu yang tersisa dari pembakaran briket. Kualitas biobriket yang lebih rendah dipengaruhi oleh kadar abu yang lebih tinggi, karena kandungan abu yang tinggi dapat mengurangi nilai kalor biobriket (Irmawati 2020).

Pengujian kadar abu dilakukan berdasarkan SNI 14-1031-1989 yakni dengan cara sampel uji ditimbang sebanyak $\pm$ 1 gram dalam cawan *crucible* yang sudah diketahui massa kosongnya. Sampel kemudian dibakar dalam *furnace* dengan suhu 575$\pm$25ºC selama 3 jam. Setelah proses pembakaran selesai, cawan dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang massanya (Hainur Aini et al. 2023). Perhitungan kadar abu dilakukan menggunakan Persamaan 1 berikut:

$$Kadar\ Abu\ (\%) = \frac{a-b}{c} \times 100\% \ldots(1)$$

Keterangan:

a = Massa cawan + sisa pembakaran pada temperatur 575^{o}C (gram)

b = massa cawan kosong (gram)

c = massa sampel uji (gram)

3. Volatile matter (SNI 06-3730-1995)

Pengujian kadar zat terbang dilakukan berdasarkan SNI 06-3730-1995 dengan cara sampel uji ditimbang sebanyak $\pm$ 1gram dalam cawan *crucible* yang sudah diketahui massa kosongnya. Sampel kemudian dibakar dalam *furnace* dengan suhu 950^{o}C selama 7 menit (Qanitah et al. 2023). Setelah proses pembakaran selesai, cawan dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang massanya (Hainur Aini et al. 2023). Perhitungan *volatile matter* dilakukan menggunakan Persamaan 2 berikut:

$$Volatile\ Matter\ (\%) = \frac{\mathrm{a}-b}{c} \times 100\% \ldots(2)$$

Keterangan:

a = Massa sampel

b = Massa abu

c = Massa sampel

2. *Fixed Carbon* (ASTM D 172-13)

Karbon terikat (*fixed carbon)* merupakan unsur karbon yang tersisa dan terikat dalam suatu bahan setelah kehilangan air, abu, dan zat terbang. Kadar karbon terikat dapat diketahui dari hasil pengujian kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang yang telah dilakukan sebelumnya dikurang dengan 100% (E. Ningsih et al. 2020). Karbon terikat merujuk pada karbon yang tersisa setelah menghilangkan air, abu, dan zat terbang (*volatile matter*) dari sampel (Hainur Aini et al. 2023). Perhitungan nilai kadar karbon terikat berdasarkan (*American Standard Testing and Material*) ASTM D 172-13 *by difference* yaitu sebagai berikut.

$$FC\ (\%) = 100 - (MC + AC + VM) \quad \ldots\ldots(3)$$

Keterangan:

MC = Kadar air (%)
AC = Kadar Abu (%)
VM = Kadar Zat Terbang (%)

3. Nilai Kalor (ASTM D 2015)

Nilai kalor merupakan nilai kalori kotor HHV (*gross calorific value*) yang didapatkan dari percobaan Bom Kalorimeter mengacu pada (*American Standard Testing and Material*) ASTM D 2015 yang dinyatakan dalam satuan Btu/Ib atau Kcal/kg (Putro, Musabbikhah, and

Suranto 2015). Analisis nilai kalor pada penelitian menggunakan alat Parr 6400 Calorimeter dari Pusat Riset kimia Maju, BRIN Serpong. Nilai kalor sangat penting untuk biobriket karena berpengaruh pada kualitasnya. Nilai kalor yang tinggi atau rendah pada suatu biobriket berkorelasi langsung dengan kualitas biobriket yang dihasilkan. Nilai kalor yang tinggi atau rendah pada suatu briket tergantung pada kadar air, abu, dan karbonnya (Irmawati 2020).

4. Laju Pembakaran

Pengujian kecepatan pembakaran merupakan salah satu pengujian kualitas biobriket yang dilakukan dengan cara menimbang berat biobriket terlebih dahulu sebelum dilakukan pembakaran. Setelah itu, biobriket dibakar hingga menjadi abu, lalu ditimbang kembali massa biobriket setelah dibakar. Waktu pembakaran dihitung pada saat biobriket terbakar sampai biobriket menjadi abu (Elwina et al. 2022). Laju pembakaran dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4 berikut.

$$Laju\ Pembakaran\ (g/detik) = \frac{m}{t} \ldots(4)$$

Keterangan:

m = Massa biobriket terbakar (g)

t = Lama waktu biobriket habis terbakar (detik)

5. Densitas (ASTM B 311-93)

Pengujian densitas biobriket dilakukan berdasarkan (*American Standard Testing and Material*) ASTM B 311-93 yaitu dengan cara sampel uji ditimbang massanya kemudian diukur tinggi dan diameternya untuk menghitung volume biobriket (Pambudi, Farid, and Nurdiansah 2017). Perhitungan densitas biobriket dilakukan menggunakan Persamaan 5 berikut ini.

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ .....(5)}$$

Keterangan:

ρ = Densitas (g/cm^3)

m = Massa biobriket (g)

v = Volume biobriket (cm^3)

6. Kuat Tekan (ASTM D 695)

Uji kuat tekan biobriket dilakukan dengan metode pengujian kuat tekan menggunakan alat *Autograph AG-Xplus* 50 kN Shimadzu dari Pusat Riset Teknologi Polimer, BRIN, Serpong berdasarkan (*American Standard Testing and Material*) ASTM D 695.

$$Kuat\ Tekan = \left(\frac{N}{cm2}\right) \text{ .....(6)}$$

Keterangan:

N = Tekanan

cm^2 = Luas penampung

7. Analisis CHN

Analisa CHN merupakan analisis yang bertujuan untuk mengetahui kandungan karbon, hidrogen, dan nitrogen pada sampel uji. Analisa CHN dilakukan dengan cara sampel uji ditimbang sebanyak ± 0,1gram dan selanjutnya diuji menggunakan alat CHN *Analyzer type* CHN 628 merk LECO dari Pusat Riset Kimia Maju, BRIN, Serpong.

8. Analisis FTIR

Analisis gugus fungsi dilakukan menimbang 1 g sampel dan diuji menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Ruker Tensor II pada interval bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1}. Analisis FTIR menggunakan software Opus 8.0 untuk pengukuran spektrum dan deteksi puncak. Selanjutnya, gugus fungsi yang terkandung pada arang *fluff* teh diinterpretasi.

9. Analisis SEM

Prosedur analisis SEM pada penelitian ini yaitu 2 mg sampel ditimbang kemudian diuji menggunakan instrumen SEM merk Hitachi SU3500 di Laboratorium Imaging Fisika Maju, BRIN Serpong.

10. Analisis Termogravimetri

Termogravimetri (TGA) adalah teknik untuk mengukur perubahan berat dari suatu senyawa sebagai fungsi dari suhu ataupun waktu. Hasilnya berupa rekaman

diagram yang kontinu. Analisis TGA dilakukan menggunakan instrumen DSC-TGA merk Linseis STA PT 1800 dari Pusat Riset Kimia Maju, BRIN Serpong.

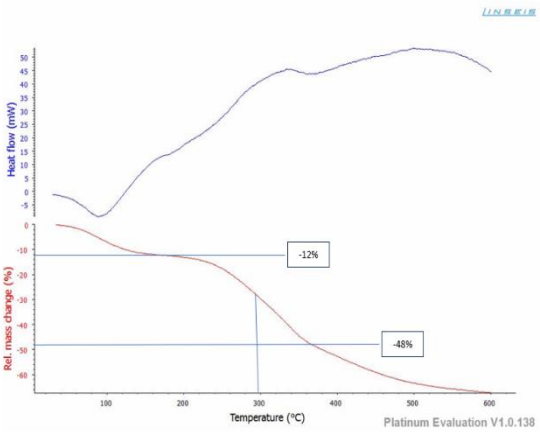
BAB IV
PEMBAHASAN

A. Hasil Pirolisis *Fluff* Teh Terhadap Produksi Biochar

Fluff teh sebagai bahan untuk pembuatan biobriket dengan ukuran 8 mesh. Pada pembentukan ukuran 8 mesh dilakukan dengan pemotongan grinder dan diayak dengan ukuran 8 mesh. *Fluff* teh yang sudah terbentuk 8 mesh dilakukan proses termogravimetri memiliki tujuan untuk mengevaluasi sifat pembakaran. Hasil pada proses termogravimetri yaitu 300^{o}c yang bagus untuk melakukan proses pirolisis terlihat pada Gambar 4. 2 Pirolisis adalah suatu proses dekomposisi bahan oleh temperatur. Proses pirolisis diawali pada temperatur besar serta tanpa oksigen (O_2). Produk cair menguap memiliki tar serta *polymatic hydrocarbon*. Produk pirolisis biasanya terdiri dari 3 tipe, yaitu gas (H_2, CO, CO_2, H_2O serta CH_2), tar (*pyrolitic oil*), serta biochar (Riandis, Setyawati, and Sanjaya 2021). Hasil biochar dapat dilihat pada Gambar 4. 1.



Gambar 4. 1 Biochar



Gambar 4. 2 Hasil Analisis Termogravimetri *Fluff* Teh

Gambar 4. 2 Menampilkan kurva *thermogravimetric Analysis* (TGA) yang ditunjukkan oleh kurva berwarna merah. Karakterisasi TGA bertujuan untuk melihat perubahan berat sampel selama proses pemanasan dan membantu memilih suhu pirolisis yang sesuai. Grafik tersebut menunjukkan perubahan berat relatif (%) terhadap suhu (°C), yang digunakan untuk mengetahui seberapa banyak berat sampel yang menghilang saat dipanaskan. Terlihat bahwa pada sekitar 200°C terjadi penurunan massa sekitar 12%, yang menunjukkan bahwa material mulai mengalami dekomposisi atau penguapan komponen volatil (Haberle et al. 2017). Penurunan besar lainnya terlihat sekitar 600°C, dengan penurunan massa sekitar 48%. Ini menunjukkan dekomposisi termal utama dari

material seperti hemiselulosa, lignin, dan selulosa (Felix et al. 2022). Pirolisis umumnya terjadi pada rentang suhu 400°C hingga 600°C, sebagian besar material organik mengalami degradasi secara signifikan pada suhu tersebut. Berdasarkan analisis grafik, suhu optimal untuk pirolisis bahan baku diperkirakan dalam kisaran 300°C hingga 600°C, karena terjadinya dekomposisi signifikan pada suhu tersebut. Maka dari itu, suhu untuk pirolisis diambil pada suhu 300^{o}c.

Pirolisis pada *fluff* teh dilakukan sebanyak 6 kali percobaan. Pada hasil pirolisis ini dilakukan uji analisis proksimat setiap hasil pirolisis yang terlihat pada Tabel 4. 1 dibawah ini. Pirolisis dilakukan 6 kali karena membutuhkan jumlah biochar yang cukup banyak untuk pembuatan biobriket. Hasil dari biochar dilakukan pengujian uji proksimat untuk mengetahui kadar air, kadar abu, *volatile matter, fixed carbon*. Pada pengujian uji proksimat dilakukan supaya hasil dari proksimat tidak terlalu jauh dari hasil uji pirolisis 1, 2, 3, 4, 5, 6. Pada pengujian proksimat berpengaruh pada biobriket bila kadar air dan kadar abu masih tinggi akan menyebabkan susahnya menyala biobriket dan menurunkan nilai kalor pada biobriket (Ulma et al. 2021). Maka dari itu setiap hasil pirolisis dilakukan uji proksimat supaya menghasilkan terbaik pada biochar dan biobriket.

Tabel 4. 1 Hasil Proksimat Setiap Pirolisis

Ukuran Partikel	8 mesh (RUN 1)	8 mesh (RUN 2)	8 mesh (RUN 3)	8 mesh (RUN 4)	8 mesh (RUN 5)	8 mesh (RUN 6)
Rendemen (%)	49,76	52,16	49,56	50,6	49,4	48,64
Kadar Air (%)	3,23	3,76	2,79	3,505	3,28	2,96
Kadar Abu (%)	5,78	10,89	11,61	10,89	11,09	10,76
Volatile matter (%)	10,95	9,677	10,2	10,34	8,62	9,48
Fixed Karbon (%)	80	75,30	75	75,50	77	76

Biochar merupakan material padat yang kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis limbah atau biomasa pertanian. Pembakaran tidak sempurna dengan jumlah oksigen yang terbatas dikenal sebagai pirolisis (Kusman 2024). Tabel 4. 1 diatas hasil uji proksimat dari biochar *fluff* teh. Pada penelitian ini sesuai dengan penelitian (Aini et al. 2023) dengan hasil sesuai dengan standar SNI 01-6235-2000 setiap pada pengujian analisis proksimat yaitu kadar air maksimal 8% dan *volatile matter* 9-14%.

B. Perbandingan Antara *Fluff* Teh dan Biochar Hasil Pirolisis

Hasil analisis uji proksimat bahan baku *fluff* teh (FT) dan biochar (BC) *fluff* teh yang tertera dalam Tabel 4. 2 berikut.

Tabel 4. 2 Hasil Analisis Uji Proksimat Bahan Baku *Fluff* teh (FT) dan Biochar (BC)

	Fluff Teh	Biochar
Kadar Air (%)	9,195	3,254
Kadar Abu (%)	5,84	10,057
Volatile Matter (%)	5,05	10,057
Fixed Carbon (%)	79,915	76,518
Nilai Kalor (kal/g)	4482,56	6374,97

Berdasarkan dari Tabel 4. 2 diatas, diperoleh data hasil analisis kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed*

carbon dan nilai kalor bahan baku *fluff* teh (FT) dan biochar (BC) yang dilakukan sebelum pirolisis (bahan baku *fluff* teh) dan sesudah pirolisis (biochar). Pembakaran pirolisis berbeda dari pembakaran yang biasa. Pada pirolisis membutuhkan udara sebagai elemen utama untuk pembakaran yang membuat sempurna (Ridhuan et al. 2018). Hasil biochar sesuai dengan standar SNI 01-6235-2000 setiap pada pengujian analisis proksimat yaitu kadar air maksimal 8%, *volatile matter* 9-14% dan nilai kalor .5000 kal/g.

1. Hasil Analisis Kadar Air Bahan Baku dan Biochar

Kadar air juga dapat dipengaruhi oleh proses selama pirolisis. Suhu dan volume udara terperangkap di reaktor. Kadar air yang dihasilkan oleh pirolisis karbonisasi mengandung suhu tertinggi dan udara kecil. (Yanti et al. 2022). kandungan air pada biochar menjadi faktor utama yang harus diperhatikan jika ingin dijadikan bahan baku energi karena akan mempengaruhi sifat fungsional biochar. Jadi, untuk memilih bahan baku energi alternatif, biomassa yang dipilih harus memiliki kadar air yang rendah sehingga tidak banyak berpengaruh terhadap penurunan nilai kalor dan kualitas biochar (Nisavira, Agustian, Al Muttaqii, et al. 2023). Hal ini menunjukkan bahwa kandungan air bahan baku mempengaruhi kadar air biobriket arang. Kadar air memiliki syarat SNI 01-

6235-2000 yang mensyaratkan kadar air maksimal 8% (Shobar, Sribudiani, and Somadona 2020).

Tabel 4. 3 Hasil Kadar Air Terhadap Bahan Baku *Fluff* Teh (FT) dan Biochar (BC)

	Kadar Air (%)
Fluff Teh (FT)	9,19
Biochar (BC)	3,25

Tabel 4. 3 menunjukkan hasil analisis pada *fluff* teh (FT) dan biochar (BC). Pada hasil tersebut menunjukkan hasil biochar lebih rendah dibandingkan dengan bahan baku *fluff* teh. Kadar air yang didapatkan pada biochar (BC) yaitu sebesar 3,254%. Sementara itu, kadar air *fluff* teh yaitu sebesar 9,195%. Hasil penelitian ini konsisten dengan uji coba yang dilakukan oleh Wibowo et al. (2020) karena dapat mengurangi kadar air setelah pirolisis, Berdasarkan uji nilai kadar air biobriket telah memenuhi standar SNI 01-6235-2000 yaitu <8% (Ariwidyanata et al. 2019).

2. Hasil Analisis Kadar Abu Bahan Baku dan Biochar

Analisis kadar abu biobriket dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral yang tidak dapat terbakar pada biobriket (Ulma et al. 2021). Abu mengandung bahan kimia yang terdiri dari fosfor, silika, magnesium, kalsium,

dan lain-lain. Silika adalah salah satu komponen abu yang paling umum dan berdampak negatif terhadap kualitas biobriket. Kadar abu yang memenuhi SNI 06- 3730-1995 syarat kadar abu biochar dengan maksimal 10% (Budaya, Sasmita, and HS 2021). Kadar abu yang rendah akan menghasilkan karbon yang tinggi (Puspita, Syakur, and Darusman 2021).

Tabel 4. 4 Hasil Kadar Abu Terhadap Bahan Baku *Fluff* Teh (FT) dan Biochar (BC)

	Kadar Abu (%)
Fluff Teh (FT)	5,84
Biochar (BC)	10,17

Kadar abu merupakan oksida logam dalam arang yang terdiri dari mineral yang tidak dapat menguap pada proses karbonisasi (Ridhuan et al. 2018). Tabel 4. 4 menunjukkan kadar abu biochar *fluff* teh meningkat dengan temperatur pirolisis. Hal ini sesuai dengan penelitian (Nisavira, Agustian, Al Muttaqii, et al. 2023) yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara kadar abu biomassa *fluff* teh dengan kadar abu biochar. Maka dari itu, kadar abu sudah memenuhi SNI 06- 3730-1995 syarat kadar abu biochar dengan maksimal 10% (Budaya, Sasmita, and HS 2021).

3. Hasil Analisis *Volatile Matter* Bahan Baku dan Biochar

Volatile matter (zat terbang) merupakan bahan yang mudah menguap. Biomassa termasuk dalam bahan yang mudah menguap adalah H_2, CH_4, hidrokarbon, karbon monoksida dan gas-gas tidak mudah terbakar seperti nitrogen dan CO_2 (Taufik Iskandar and Rofiatin 2017). Maka dari itu, tinggi rendahnya nilai zat terbang dalam biochar disebabkan oleh adanya komponen kimia zat ekstraktif dari biomassa tersebut (Nisavira, Agustian, Al Muttaqii, et al. 2023). Kandungan *volatile matter* ini memiliki peran penting dalam menentukan kualitas biochar sebagai sumber energi karena berkaitan dengan kemampuan menyala dan kemampuan terbakar dari biochar (Hainur Aini et al. 2023) (Saputro and Widayat 2016).

Tabel 4. 5 Hasil *Volatile Matter* Terhadap Bahan Baku Fluff Teh (FT) dan Biochar (BC)

	Volatile matter (%)
Fluff Teh (FT)	5,05
Biochar (BC)	10,05

Tabel 4. 5 menunjukkan hasil analisis *volatile matter* bahan baku *fluff* teh dan biochar. Berdasaran gambar tersebut terlihat bahwa kadar abu yang didapatkan pada biochar *fluff* teh lebih tinggi dibandingkan pada bahan baku *fluff* teh. Kadar abu pada bahan baku *fluff* teh yaitu sebesar 5,05%, sedangkan biochar meningkat menjadi

10,05%. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Hainur Aini et al. 2023) dimana kadar *volatile matter* mengalami peningkatan setelah dilakukan proses pirolisis. Kandungan zat terbang sebagai kehilangan massa (tidak termasuk kehilangan air) biochar yang terjadi selama proses pirolisis. Kandungan *volatile matter* memiliki peran penting terkait dengan klasifikasi kualitas biochar sebagai sumber energi karena berkaitan dengan *ignitability* dan *combustibility* dari biochar. Maka dari itu, kadar *volatile matter* sudah memenuhi SNI 06-3730-1995 syarat kadar *volatile matter* biochar dengan maksimal 10% (Ilmiah et al. 2024).

4. Hasil Analisis *Fixed Carbon* Bahan Baku dan Biochar

Fixed carbon adalah karbon dan sedikit produk sampingan yang mengandung H, O_2, S dan N. Menentukan yang tetap karbon yang diperoleh dari reduksi hasil antara jumlah karbon, kandungan murni dalam biochar biologis menurun sebesarnya nilai kadar air, kadar abu dan kadar zat terbang (Fika, Elsytia, and Sasmita 2021). *Fixed carbon* pada biochar meningkat seiring dengan peningkatan suhu puncak pirolisis. Ketika suhu meningkat dari 300^{o}C menjadi 500^{o}C, peningkatan *fixed carbon* yang signifikan terjadi pada biochar (Aller 2016).

Tabel 4. 6 Hasil Fixed Carbon Terhadap Bahan Baku *Fluff* Teh (FT) dan Biochar (BC)

	Fixed carbon (%)
Fluff Teh (FT)	79,91
Biochar (BC)	76,51

Fixed carbon pada biochar adalah bahan bakar padat yang tertinggal dalam reaktor setelah proses pirolisis. Kadar karbon terikat dipengaruhi oleh jenis bahan baku, metode karbonisasi maupun bentuk dari biochar itu sendiri. Tinggi kadar karbon pada biochar dapat memaksimalkan penyimpanan karbon yang nantinya akan digunakan sebagai sumber energi (Puspita, Syakur, and Darusman 2021). Pada Tabel 4. 6 terlihat bahwa kadar *fixed carbon* bahan baku *fluff* teh lebih tinggi dibandingkan pada biochar *fluff* teh yakni sebesar 79,91%, sedangkan kadar *fixed carbon* pada biochar *fluff* teh yakni sebesar 76,51%. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Dyah Siswati et al. 2022) naik turunnya *fixed carbon* diakibatkan lignin belum terurai semua. Kadar *fixed carbon* akan semakin tinggi apabila kadar air, abu dan *volatile matter* semakin rendah. Menurut Siahaan (2013) pelat–pelat karbon dapat rusak seiring bertambahnya waktu karbonisasi, karena terjadi oksidasi yang berlebihan (Dyah Siswati et al. 2022). Hasil biochar

ini sesuai dengan SNI 06- 3730-1995 dengan nilai >76% (Aljarwi, Pangga, and Ahzan 2020)

5. Hasil Analisis Nilai Kalor Bahan Baku dan Biochar

Nilai kalor suatu bahan bakar dapat berupa suatu besaran vitalitas hangat paling ekstrim habis oleh bahan bakar melalui respon pembakaran total suatu satuan massa atau volume bahan bakar (Almu et al. 2014). Semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan biochar, maka kualitas biobriket akan semakin baik. Namun, tinggi rendahnya nilai kalor yang dihasilkan tentu saja akan dipengaruhi oleh bahan baku yang digunakan (Sugiharto and Lestari 2021). Nilai kalor dipengaruhi juga oleh kadar abu dan kadar air. Semakin rendah kadar abu dan kadar air maka nilai kalor semakin tinggi (Taufik Iskandar 2012).

Tabel 4. 7 Hasil Nilai Kalor Terhadap Bahan Baku *Fluff* Teh (FT) dan Biochar (BC)

	Nilai Kalor (kal/g)
Fluff Teh (FT)	4482,56
Biochar (BC)	6374,97

Pada Tabel 4. *7* terlihat bahwa nilai kalor pada bahan baku *fluff* teh yakni sebesar 4482,56 kal/g dan mengalami peningkatan nilai kalor setelah bahan baku *fluff* teh (FT) dilakukan pengarangan menggunakan metode pirolisis yaitu menjadi 6374,97 kal/g yang akan menjadi biochar (BC). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian

Nisavira et al., (2023) yang melaporkan bila proses pirolisis dapat meningkatkan nilai kalor pada biochar. Hasil pada nilai kalor biochar sesuai dengan SNI 06- 3730-1995 dengan nilai >5000 kal/g.

C. Perbandingan Uji Proksimat Biochar dan Biobriket

Uji proksimat adalah suatu pengujian yang dilakukan di dalam laboratorium. Pengujian proksimat dilakukan memiliki tujuan sebagai menguji bahan bakar padat berdasarkan sifat komponen untuk mengetahui kualitas dari bahan bakar padat. Analisis proksimat ini diantaranya (kadar air, kadar abu, kadar *volatile matter*, dan kadar *fixed carbon*). Berdasarkan biobriket SNI 01-6235-2000, kadar air yang diperbolehkan maksimal 8%. Kadar abu maksimal 8%, kadar zat terbang minimal 15%, dan kadar karbon terikat 64-67%, serta nilai kalor minimal 5000 kal/kg (Cholilie and Zuari 2021).

1. Hasil Analisis Kadar Air Biochar dan Biobriket

Pembuatan biobriket menggunakan biochar dicampurkan dengan perekat tepung lalu ditambahkan air dengan perbandingan perekat dan air yaitu 1:3. Jika sudah diaduk hasil formulasi di masukkan kedalam cetakan biobriket dan cetakan di masukkan ke alat *hydrolic hot press* dan ditekan dengan 2 MT dan waktu 1 menit. Bila sudah di cetak dikeringkan dengan *furnace* dan setelah itu biobriket yang dilakukan pengujian kadar air dilakukan

penggerusan dan ditimbang dengan berat 0,5 gram. Biobriket yang sudah ditimbang dilakukan pengujian menggunakan alat *moisture analyzer*.

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air pada biochar dan biobriket. Kadungan air pada biobriket mempengaruhi pada nilai kalor dan laju pembakaran (Ulma et al. 2021). biobriket yang mengandung kadar air yang tinggi akan mudah hancur serta mudah ditumbuhi jamur karena kekurangan dari perekat tepung yang memiliki sifat tidak tahan terhadap kelembaban. Hal ini disebabkan tepung mempunyai sifat dapat menyerap air dari udara (Situmorang and Kusmartono 2022). Tepung merupakan salah satu bahan perekat yang sering digunakan dalam pembuatan biobriket karena murah, mudah ditemukan dan memiliki daya rekat yang tinggi (Ziliwu et al. 2023). Tepung yang digunakan yaitu tepung tapioka (PT), tepung maizena (PJ), tepung beras (PB), tepung sagu (PS). Hasil biobriket dapat dilihat pada Tabel 4. 8.

Tabel 4. 8 Hubungan Antara Kadar Air Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar

Sampel	Kadar Air (%)			
	5%	10%	15%	
Biochar				3,25
Tapioka	5,37	5,72	6,37	
Maizena	4,82	5,86	4,82	
Beras	5,15	5,57	5,15	
Sagu	5,37	6	5,37	

Penelitian ini besar kecilnya kadar air yang didapatkan pada biochar juga mempengaruhi kemampuan biochar dalam menyerap air. Hasil yang diperoleh pada biobriket dengan tepung tapioka, maizena, beras, sagu dengan perekat 5% yaitu 5,37%; 4,82%; 5,15%; 5,37%. Menurut penelitian O. A. Aisyah et al., (2023) kadar air yang semakin tinggi menyebabkan waktu pembakaran akan semakin lama. Pembakaran pirolisis yang lama maka pori-pori dari biochar akan mengakibatkan terjadinya kontak langsung antara biochar yang bersifat hidroskopik dengan udara sehingga biochar banyak menyerap air.

Berdasarkan Tabel 4. 8 diatas menunjukkan bahwa semakin besar persen perekat yang digunakan, maka kadar air yang didapatkan akan semakin tinggi. Menurut Nurhamida et al., (2023) semakin banyak perekat yang digunakan maka akan semakin tinggi kadar air yang dihasilkan begitu dengan sebaliknya, kadar air disebabkan oleh sifat perekat yang tidak tahan terhadap kelembapan sehingga mudah menyerap air dan udara. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh A. Ningsih (2019) dimana menunjukkan bahwa kadar air yang didapatkan dalam penelitian ini berkisar pada 8,1% - 10,1% dimana kadar air terendah 6,5% dihasilkan oleh biobriket pada rasio 00:100 dengan 6% perekat dan kadar air tertinggi adalah 14,5% dihasilkan oleh biobriket pada

rasio 100:00 dengan menghasilkan 8% perekat. Maka dari itu, bila dibandingkan dengan standar SNI 01-6235-2000 pada Tabel 4. 8, nilai dari masing-masing konsentrasi dapat menunjukkan bahwa kualitas biobriket *fluff* teh dengan bahan perekat tepung tapioka, tepung maizena, tepung beras dan tepung sagu telah memenuhi standar yang ditetapkan. Dengan nilai <8%.

2. Hasil Analisis Kadar Abu Biochar dan Biobriket

Kadar abu merupakan persentase dari zat-zat yang tersisa dari proses pembakaran dan sudah tidak memiliki unsur karbon (C). Semakin tinggi kadar abu kualitas biobriket akan semakin rendah, karena disebabkan oleh kandungan abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor pada biobriket (Milya et al. 2023). Kadar abu yang terkandung di dalam biomassa terdiri dari unsur-unsur kimia yaitu garam karbohidrat, folfat, sulfat, dan silika dari kalium, magnesium dan kalsium (Iskandar & Rofiatin, 2017).

Tabel 4. 9 Hubungan Antara Kadar Abu Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar

Sampel	Kadar Abu (%)			
	5%	10%	15%	
Biochar				10,17
Tapioka	9,61	9,24	8,79	
Maizena	9,93	9,74	8,82	

Beras	8,97	8,94	8,56
Sagu	9,56	9,24	8,75

Berdasarkan pada Tabel 4. 9 biochar memiliki kadar abu yang tinggi yaitu 10,17%. Pada pembuatan biobriket dengan perekat Menurut Puspita et al., (2021) rendahnya nilai kadar abu mendapatkan hasil kadar karbon yang tinggi. Sementara itu, tingginya pada kadar abu biochar dapat mempengaruhi kualitas mutu biochar itu sendiri (ZA et al. 2021). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Aziz et al. (2019) hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar abu menunjukan bahwa jenis perekat berpengaruh nyata terhadap kadar abu biobriket arang dari cangkang kelapa sawit. Pada perekat tepung tapioka 7,7%, sagu aren 6,74%, arpus 7,11%. Semakin tinggi kadar abu menghasilkan nilai kalor yang rendah. Menurut Harahap and Jumiati (2022) penyebab rendahnya kadar abu dikarenakan tingginya konsentrasi perekat tepung tapioka dan tepung sagu yang mengakibatkan konsentrasi dari arang biji salak menurun sehingga dapat menyebabkan kandungan abu menjadi meningkat, silika merupakan salah satu penyusun abu, dimana silika ini memiliki pengaruh yang kurang baik terhadap nilai kalor. Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-6235-2000 mensyaratkan kadar abu pada biobriket sebagai sumber energi alternatif maksimal 8% (Irmawati 2020).

3. Hasil Analisis *Volatile Matter* Biochar dan Biobriket

Kadar *volatile matter* (zat terbang) adalah komponen karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) di dalam biomassa, dimana saat dipanaskan akan berubah menjadi uap (H_2, O_2, dan lain-lain), biasanya merupakan campuran senyawa hidrokarbon (Ridjayanti et al. 2021). Pengujian kadar *volatile matter* dilakukan memiliki tujuan untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam suatu bahan yang belum mengalami penguapan pada saat proses pirolisis dan mengalami penguapan ketika dipanaskan pada suhu 950^{o}C (Asmunandar et al. 2023). Hasil pada pengujian *volatile matter* dilihat pada Tabel 4. 10.

Tabel 4. 10 Hubungan Antara *Volatile Matter* Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar

Sampel	*Volatile Matter* (%)			
	5%	10%	15%	
Biochar				10,05
Tapioka	74,26	79,94	84,22	
Maizena	84,02	75,36	73,32	
Beras	62,88	80,17	68,88	
Sagu	78,78	68,88	76,15	

Kadar *Volatile matter* biochar dan biobriket dapat dilihat pada Tabel 4. 10 terlihat adanya perbedaan kadar zat terbang antara biochar dan biobriket yang telah dicampur dengan perekat. Biochar memiliki kadar zat terbang jauh lebih rendah dibandingkan dengan biobriket tepung tapioka, tepung maizena, tepung beras dan tepung sagu.

Terdapat kenaikan kadar zat terbang sebanyak 74,26%; 79,94%; dan 84,22% untuk biobriket berkadar perekat 5%, 10%, dan 15% pada perekat tepung tapioka. Biobriket dengan kandungan *volatile matter* yang lebih rendah akan memiliki kandungan *fixed carbon* yang lebih tinggi, dan begitu pula sebaliknya, biobriket dengan kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi akan memiliki kandungan karbon yang lebih rendah (Asmunandar et al. 2023). Hasil penelitian yang diperoleh yang terlihat pada Tabel 4. 10 masih belum memenuhi standar SNI 01-6235-2000 karena berkisar antara 62,88 % - 84,22 %, sedangkan standar SNI adalah <15%.

Kadar *volatile matter* yang terlalu tinggi menurunkan kualitas biobriket karena banyaknya zat terbang maka kandungan karbon semakin kecil sehingga nilai kalor yang dihasilkan semakin rendah. Untuk kadar zat terbang >40% pada pembakaran akan memperoleh nyala panjang dan akan memberikan asap yang banyak, sedangkan untuk kadar *volatile matter* rendah antara 15-25% dalam pemakaian karena asap yang dihasilkan sedikit (H. Wijayanti, Adijaya, and Misuari 2021).

4. Hasil Analisis *Fixed Carbon* Biochar dan Biobriket

Fixed carbon adalah cara untuk mengetahui kualitas biobriket. Nilai karbon terikat bergantung pada nilai kadar air, kadar abu dan kadar *volatile matter*. Kadar *fixed*

carbon merupakan persentasi karbon (C) yang tersedia untuk pembakaran setelah kadar *volatile matter* hilang. Kandungan utama *fixed carbon* adalah karbon dan bahan lainnya yang mengandung hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa gas (Ridjayanti et al. 2021). Semakin tinggi kadar *fixed carbon* maka akan semakin baik kualitas biobriket. Pada Tabel 4. 11 hasil biochar dan biobriket yang telah dilakukan *fixed carbon.*

Tabel 4. 11 Hubungan Antara Fixed Carbon Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar

Sampel	*Fixed Carbon* (%)			
	5%	10%	15%	
Biochar				76,52
Tapioka	10,75	5,09	0,61	
Maizena	1,22	9,02	11	
Beras	22,99	5,31	14,89	
Sagu	6,27	14,89	8,75	

Berdasarkan pada Tabel 4. 11 nilai pada biochar lebih tinggi yaitu 76,52% dibandingkan biobriket yang telah di tambahkan perekat. *Fixed carbon* pada biochar adalah bahan bakar padat yang tertinggal dalam reaktor setelah proses pengarangan (pirolisis). Kadar *fixed carbon* sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku, metode karbonisasi maupun bentuk dari biochar itu sendiri. Tinggi kadar karbon pada biochar dapat memaksimalkan penyimpanan karbon yang nantinya akan digunakan sebagai sumber energi (Puspita, Syakur, and Darusman 2021).

Rasio zat mudah menguap biobriket dipengaruhi oleh banyaknya perekat yang dicampurkan dalam biobriket, semakin tinggi rasio perekat maka kadar zat menguap akan semakin tinggi, sehingga berpengaruh terhadap *fixed carbon* yang dihasilkan (Rofiq and Hardjono 2023). Kadar *fixed carbon* pada biochar sangat mempengaruhi kualitas biobriket sebagai sumber energi alternatif. Semakin tinggi kadar *fixed carbon* pada biobriket, maka nilai kalor biobriket akan semakin tinggi sehingga kualitas biobriket akan semakin baik, dan asap yang dihasilkan juga sedikit (Rahma 2023). Peningkatan jumlah *fixed carbon* disebabkan oleh adanya komponen karbohidrat, khususnya selulosa, dalam bahan tersebut. Jumlah *fixed carbon* yang lebih besar dalam bahan tersebut menghasilkan peningkatan efisiensi pembakaran arang biobriket (Furqan, Bahri, and Mulyawan 2025).

5. Hasil Analisis Nilai Kalor Biochar dan Biobriket

Nilai kalor merupakan energi panas yang dihasilkan melalui pembakaran sempurna dari biobriket (Aljarwi, Pangga, and Ahzan 2020).

Tabel 4. 12 Hubungan Antara Nilai Kalor Terhadap Jenis Perekat Pada Biobriket Dibandingkan Dengan Biochar

Sampel	Nilai Kalor (kal/g)			
	5%	10%	15%	
Biochar				6374,61
Tapioka	5871,61	5802,87	5711,93	
Maizena	5885,89	5878,04	5733,63	

Beras	5874,45	5766,4	5789,92
Sagu	5761,39	5780,42	5649,24

Nilai kalor mempengaruhi laju pembakaran briket. Semakin besar nilai kalor maka laju pembakaran yang terjadi akan menjadi lebih lambat. Hal ini disebabkan oleh kandungan air pada biobriket. Pada Tabel 4. 12 biobriket dengan campuran perekat yang lebih banyak laju pembakarannya akan lebih cepat karena pada saat terjadi pembakaran kalor biobriket kalor digunakan untuk menghabiskan air yang terdapat pada biobriket (Putra et al. 2020). Berdasarkan Tabel 4. 12 pada penelitian ini laju pembakaran tercepat ditemukan pada biobriket dengan 5% perekat yaitu 0,001034 g/s dengan memiliki nilai kalor tertinggi 5885,89 kal/g sedangkan laju pembakaran terlambat diperoleh pada biobriket dengan perekat sagu dengan 15% dengan laju pembakaran 0,000836 g/s yang memiliki nilai kalor sebesar 5649,24 kal/g. nilai kalor pada penelitian ini sudah sesuai SNI 01-6235-2000 dengan nilai >5000 kal/g (Aljarwi, Pangga, and Ahzan 2020).

D. Karakerisasi Lanjut Biobriket

Penelitian ini melakukan karakterisasi lanjut terhadap bahan baku *fluff* teh (FT), biochar *fluff* teh (BC) dan biobriket *fluff* teh (BBFT). Karakterisasi ini bertujuan membandingkan sifat-sifat sebelum dan sesudah proses. Analisis yang dilakukan mencakup analisis gugus fungsi

menggunakan FTIR, analisis morfologi permukaan menggunakan SEM, Analisis laju pembakaran, serta analisis ultimat menggunakan CHN *analyzer*.

1. Hasil Analisis Densitas Biobriket

Kerapatan atau densitas menunjukkan perbandingan antara berat dan volume biobriket. Kerapatan biobriket berpengaruh terhadap kualitas biobriket, kerena kerapatan yang tinggi dapat meningkatkan nilai kalor bakar biobriket. Besar atau kecilnya kerapatan tersebut dipengaruhi oleh ukuran dan kehomogenan bahan penyusun biobriket itu sendiri (Syukri et al. 2024). Kerapatan juga dapat mempengaruhi keteguhan tekan, lama pembakaran, dan mudah tidaknya pada saat biobriket akan dinyalakan. Kerapatan yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan biobriket arang sulit terbakar, sedangkan biobriket yang memiliki kerapatan yang tidak terlalu tinggi maka akan memudahkan pembakaran karena semakin besar rongga udara atau celah yang dapat dilalui oleh oksigen dalam proses pembakaran. Biobriket dengan kerapatan yang terlalu rendah dapat mengakibatkan biobriket cepat habis dalam pembakaran karena bobot biobriketnya lebih rendah (Ismayana and Moh Rizal Afriyanto 2021).

Tabel 4. 13 Hasil Analisis Densitas Jenis Biobriket

Sampel	Densitas (g/cm^3)		
	5%	10%	15%

Tapioka	0,681	0,725	0,759
Maizena	0,688	0,741	0,796
Beras	0,682	0,735	0,735
Sagu	0,69	0,725	0,767

Berdasarkan Tabel 4. 13 diatas biobriket pada perekat tapioka dengan konsentrasi 5%, 10%, 15% yaitu 0,681 g/cm^3, 0,725 g/cm^3, dan 0,759 g/cm^3. Pada biobriket perekat maizena dengan konsentrasi 5%, 10%, 15% yaitu 0,688 g/cm^3, 0,741 g/cm^3, dan 0,796 g/cm^3. Biobriket beras dengan konsentrasi 5%, 10%, 15% yaitu 0,682 g/cm^3, 0,735 g/cm^3, dan 0,745 g/cm^3. Biobriket sagu dengan konsentrasi 5%, 10%, 15% yaitu 0,69 g/cm^3, 0,725 g/cm^3, dan 0,767 g/cm^3. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Syukri et al. 2024) bahwa semakin tinggi persentase perekat tapioka, tingkat homegenitas semakin rendah dan nilai kerapatannya semakin kecil. Berdasarkan (*American Standard Testing and Material*) ASTM 1982 kerapatan (density) yang terdapat dalam kehomogenan biobriket adalah ≤ 1 (g/cm^3). Kerapatan pada briket yang dihasilkan telah memenuhi (*American Standard Testing and Material*) ASTM tersebut.

2. Hasil Analisis Laju Pembakaran Biobriket

Laju pembakaran adalah kecepatan biobriket untuk habis terbakar. Artinya, semakin besar nilai laju pembakaran, maka semakin cepat biobriket untuk habis (Aljarwi, Pangga, and Ahzan 2020a). Laju pembakaran juga menentukan kualitas dan keefektivan suatu biobriket.

Banyak faktor yang mempengaruhi laju pembakaran dari suatu biobriket. Faktor-faktor yang berpengaruh yaitu kadar zat terbang (volatile matter), kadar air, ukuran partikel, kecepatan aliran udara, dan temperatur pembakaran (Irbah, Nufus, and Hidayati 2022). Pada pengaruh tersebut menghasilkan laju pembakaran yang terlihat pada Tabel 4. 14.

Tabel 4. 14 Hasil Laju Pembakaran Jenis Perekat Biobriket

Sampel	Laju Pembakaran (g/s)		
	5%	10%	15%
Tapioka	$10{,}082 \times 10^{-4}$	$8{,}590 \times 10^{-4}$	$8{,}473 \times 10^{-4}$
Maizena	$10{,}335 \times 10^{-4}$	$9{,}176 \times 10^{-4}$	$8{,}643 \times 10^{-4}$
Beras	$9{,}598 \times 10^{-4}$	$9{,}299 \times 10^{-4}$	$9{,}179 \times 10^{-4}$
Sagu	$9{,}659 \times 10^{-4}$	$9{,}137 \times 10^{-4}$	$8{,}369 \times 10^{-4}$

Berdasarkan Tabel 4. 14 diatas pada konsentrasi perekat 5% yang memiliki nilai tertinggi. Hasil yang diperoleh dari perekat tepung tapioka, tepung maizena, tepung beras, tepung sagu yaitu 0,001008g/s, 0,001034g/s, 0,00096g/s, 0,000966g/s. Semakin banyak kandungan *volatile matter* suatu biobriket maka semakin mudah biobriket tersebut terbakar, sehingga pembakaran semakin cepat.

3. Hasil Analisis Uji Kuat Tekan Biobriket

Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan biobriket dalam menahan beban dengan tekanan tertentu. Tingkat kekuatan tersebut diketahui ketika biobriket tidak

mampu menahan beban lagi (Eka Putri and Andasuryani 2017). Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan terhadap nilai kekerasan biobriket pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4. 15. Berdasarkan Tabel 4. 15 terlihat bahwa nilai kuat tekan tertinggi sebesar 9,94 N/mm² terdapat pada biobriket perekat maizena dengan konsentrasi 15% dan nilai kuat tekan terendah sebesar 2,6 N/mm² terdapat pada biobriket perekat sagu dengan konsentrasi 5%.

Tabel 4. 15 Hasil Uji Kuat Tekan Jenis Perekat Biobriket

Sampel	Uji Kuat Tekan (N/mm^2)		
	5%	10%	15%
Tapioka	3,35	5,53	8,43
Maizena	3,51	9,35	9,94
Beras	2,76	5,75	7,54
Sagu	2,6	8,05	9,19

Biobriket dengan mutu yang baik memiliki sifat fisik yang keras dan kuat. Kekerasan pada biobriket sangat dipengaruhi oleh tekanan pemampatan. Semakin besar nilai kekerasan berarti daya tahan biobriket juga semakin tinggi (Ansar Ansar et al. 2020). Hasil penelitian menunjukkan biobriket yang mampu menahan tekanan dan memiliki daya tahan yang baik yaitu pada biobriket dengan perekat maizena dengan konsentrasi 10%. Semakin tinggi kadar perekat yang digunakan, maka kuat tekan biobriket

juga akan menjadi semakin tinggi. Penambahan kadar perekat akan bertambahnya kuat ikatan antara perekat dengan bahan baku yang digunakan untuk pembuatan biobriket. Semakin tinggi konsentrasi perekat ada kecenderungan semakin tinggi kekuatan akan diakibatkan pecah pada biobriket, hal ini disebabkan dengan bertambahnya kadar perekat maka ikatan partikel bahan baku semakin kuat. Semakin tinggi kadar perekat maka biobriket yang dihasilkan juga akan semakin merekat kuat pada bahan dan keras sehingga terjadi proses pembakaran yang semakin menjadi lama dan nilai kalor yang dihasilkan juga akan semakin tinggi (Syukri et al. 2024). Hasil yang sesuai dengan standar SNI 01-6235-2000 pada perekat dengan konsentrasi 10% dan 15% (Muhlis, Sahara, and Fuadi 2019).

4. Hasil Analisis CHN Bahan Baku dan Biochar dan Biobriket

Analisis CHN adalah untuk mengetahui karakteristik suatu biochar. Analisis CHN yang dihasilkan berupa kandungan karbon (C), hidrogen (H), dan nitrogen (N). (Bazenet et al. 2021). Data hasil analisis CHN ini menunjukkan kandungan karbon (C) dan nitrogen (N) lebih tinggi. Namun, kandungan hidrogen (H) lebih

rendah. Hasil analisis CHN bahan baku *fluff* teh dan biochar dapat dilihat pada Tabel 4. 16.

Tabel 4. 16 Hasil Analisis CHN Bahan Baku, Biochar, dan Biobriket

Sampel	Kandungan Carbon (%)	Kandungan Nitrogen (%)	Kandungan Hidrogen (%)
Fluff Teh	46,8	6,71	3,46
Biochar	65,54	5,37	4,11
Biobriket Tapioka (BBFT-PT)	58,86	3,28	5,89
Biobriket Maizena (BBFT-PJ)	59,10	3,33	5,79
Biobriket Beras (BBFT-PB)	59,17	3,41	5,78
Biobriket Sagu (BBFT-PS)	58,97	3,35	5,76

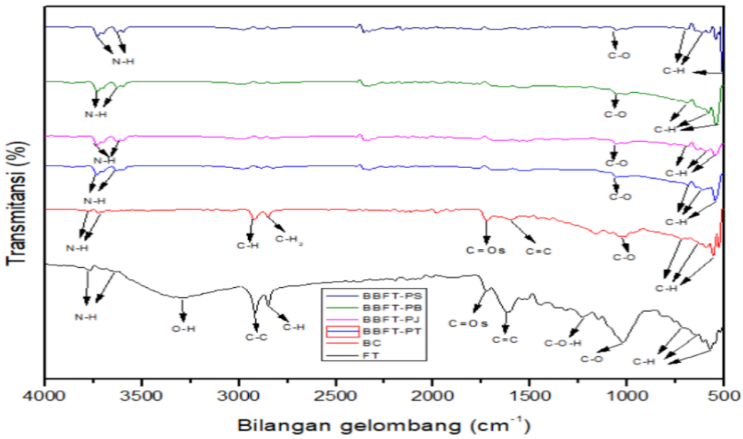
Berdasarkan data analisis yang dihasilkan pada Tabel 4. 16 diatas dapat dilihat bahwa kandungan karbon mengalami peningkatan dari bahan baku *fluff* teh. Sebelum menjadi biochar, kandungan karbon pada *fluff* teh hanya sebesar 46,80%, sedangkan setelah menjadi biochar kandungan karbon meningkat menjadi 65,54%. Hal ini terjadi karena proses pirolisis yang mampu meningkatkan nilai karbon, dimana kandungan hidrogen (H) dan oksigen (O_2) akan lebih mudah hilang dibandingkan kandungan karbon (C) sehingga terbentuk karbon yang murni (Bazenet et al. 2021). Pemberian perekat pada biobriket berpengaruh terhadap nilai kandungan karbon. Kandungan karbon yang tinggi akan meningkatkan nilai kalor biobriket sehingga semakin tinggi nilai kandungan karbon (C) maka semakin tinggi daya pembakaran pada biobriket (Adekunle et al., 2015). Unsur karbon yang bersifat reaktan berekasi dengan O_2 akan menghasilkan CO_2 (Bazenet et al. 2021). Kandungan H pada biobriket tepung tapioka, maizena, beras dan sagu yaitu 5,89%; 5,79%; 5,79%; 5,76%. Kandungan hidrogen ini berkaitan dengan kadar zat terbang (Anita, 2019). Semakin rendah kandungan hidrogen akan meningkatkan sifat mudah terbakar dan meningkatkan nilai kalor. Unsur hidrogen dapat berekasi dengan oksigen akan menghasilkan H_2O setelah proses pembakaran. Selain itu, kandungan pada

unsur nitrogen biobriket tepung tapioka, maizena, beras dan sagu yaitu 3,28%; 3,33%; 3,41%; 3,35%. Unsur nitrogen ini salah satu unsur yang tidak diinginkan dalam energi biomassa, karena unsur ini dapat menyebabkan polusi selama proses pembakaran. Unsur ini dapat bereaksi dengan udara sekitar sehingga cenderung meningkatkan pelepasan gas beracun menjadi iritan (NOx) atau asfiksia (HCN) (Kimutai dan Kimutai, 2019).

5. Hasil Analisis FTIR Bahan Baku dan Biochar dan Biobriket

Fourier transform infrared (FT-IR) adalah instrumen digunakan untuk mengetahui vibrasi molekul yang dapat digunakan untuk memprediksi struktur senyawa kimia (Sulistyani and Huda 2018). Pada penelitian ini spektrum FTIR digunakan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi kimiawi pada sampel biomassa *fluff* teh, biochar, biobriket dan perekat untuk biobriket. Gambar 4. 3 memperlihatkan spektrum serapan inframerah dari keempat sampel, yang menunjukkan perbedaan intensitas dan posisi bilangan gelombang sebagai indikasi perubahan struktur kimia. Data spektra FTIR masing-masing sampel diperoleh dengan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Ruker Tensor II pada interval bilangan gelombang 4000-500 cm^{-1} menggunakan software OriginPro 8.5 untuk pengukuran spektrum dan deteksi puncak. Dari uji

spektroskopi FTIR didapatkan spektrum inframerah seperti pada Gambar 4. 3 berikut.



A

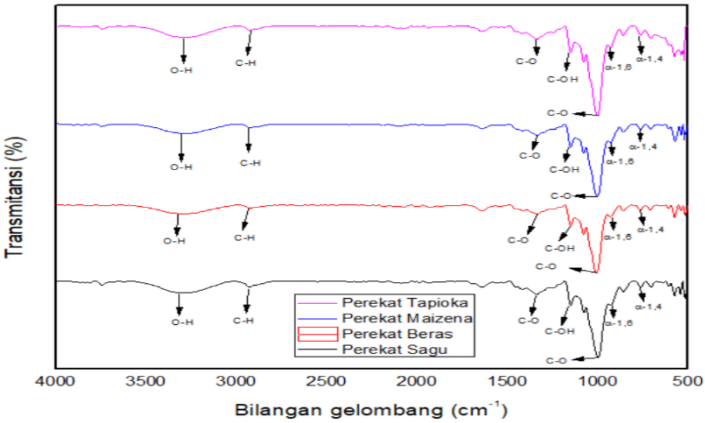
BBFT-PS: Biobriket perekat sagu

BBFT-PB: Biobriket perekat beras

BBFT-PT: Biobriket perekat tapioka

BBFT-PJ: Biobriket perekat maizena

BC: Biochar, FT: *Fluff* teh



B

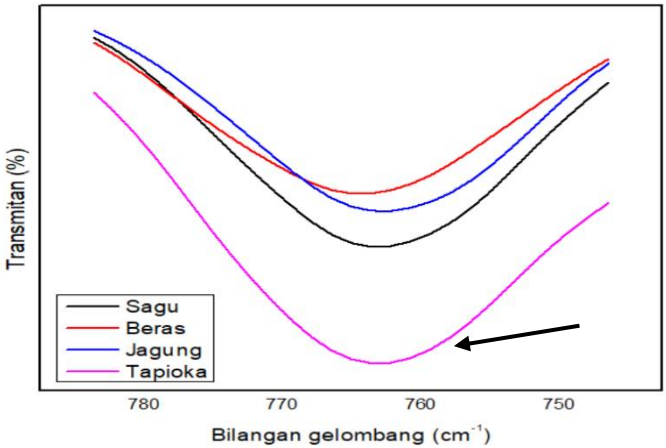
Gambar 4. 3 Hasil FTIR, A. Fluff Teh (FT), Biochar (BC), Biobriket (BBFT), B. Jenis Perekat

Berdasarkan Gambar 4. 3A spektrum FTIR biomassa *fluff* teh menunjukkan keberadaan berbagai gugus fungsi yang mengindikasikan komponen utama lignoselulosa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Pita serapan lebar pada 3340 cm^{-1} mengindikasikan gugus (–OH) dari senyawa hidroksil sementara pita di 3768 dan 3676 cm^{-1} menunjukkan getaran peregangan (N–H) dari amina atau gugus (Si-OH) dari silanol (Nandiyanto, Oktiani, and Ragadhita 2019). Serapan puncak pada 2900–2950 cm^{-1} disebabkan oleh vibrasi regangan asimetris (C–H) yang berasal dari cincin glukosa. Pita 1150–1160 cm^{-1} berkaitan dengan getaran regangan asimetris (C–O) dalam struktur (C–O–H). Dan pita 1020–1030 cm^{-1} berkaitan dengan puncak getaran (C–O) pada cincin glukosa (Chen et al.

2021). Cincin aromatik (C=C) pada 1599 cm^{-1} menunjukkan keberadaan lignin sebagai komponen aromatik utama. Sinyal pada 1231 cm^{-1} (C–O) pada cincin *guaiacyl*, (C–H) aromatik 1026 cm^{-1}. Aromatik karbonil dalam gugus (C=O) tak terkonjugasi 1725 cm^{-1}. Puncak di sekitar 700 cm^{-1} melambangkan aromatik peregangan (C–H). Selain itu, getaran kerangka fenilpropana menunjukkan struktur cincin aromatik yang masih alami (Saffar et al. 2020).

Pada spektrum FTIR biochar terjadi penurunan pita pada 3721 cm^{-1} dan 1021 cm^{-1} dengan meningkatnya suhu menunjukkan bahwa sejumlah besar hidroksil dari *fluff* teh telah bereaksi. Puncak peregangan simetris dan asimetris yang terkait dengan gugus metil dan metilen telah melemah atau menghilang pada 2920 cm^{-1} dan 1608 cm^{-1} (Jiang et al. 2018). Hasil penelitian pada **Error! Reference source not found.**A menunjukkan bahwa gugus metil dan metilen pada selulosa dan hemiselulosa pada *fluff* teh telah mengalami pirolisis. Pita serapan pada bilangan gelombang 3785–3616 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus amina (N–H), yang menunjukkan kemungkinan keberadaan senyawa nitrogen organik (Wu et al. 2016). Vibrasi ulur (C–H) struktur alkil gugus alifatik dapat terlihat pada 2927 cm^{-1} dan getaran regangan alifatik (–C=C–) muncul di 1597 cm^{-1} (Elnour et al. 2019).

Spektrum FTIR pada biobriket perekat tepung tapioka mirip dengan biobriket dengan perekat maizena, beras dan sagu, seperti yang terlihat pada Gambar 4. 3B. Vibrasi gugus (C-H) juga terdapat pada hasil analisis FTIR, yaitu pada bilangan gelombang 2850-2970 cm^{-1} (Bazenet et al. 2021). Pita serapan pada rentang ini merupakan vibrasi regangan (C–H) dari gugus metil dan metilen (-CH dan -CH_2), yang mengindikasikan keberadaan gugus alkil (Sheng et al. 2018). Hilangnya gugus (O-H) dan (C-H) pada biobriket terjadi karena sebagian besar kandungan hemiselulosa dan selulosa telah mengalami degradasi akibat pirolisis. Bilangan gelombang 900-1250 cm^{-1} merupakan vibrasi gugus (C=O) yang termasuk kelompok senyawa ester karbonil dan ikatan asetil (Bazenet et al. 2021). Pada vibrasi gugus ini terjadi perubahan dimana pada briket biomassa puncak spektra dari curam menjadi lebih datar pada pita gelombang biobriket yang terlihat pada Gambar 4. 3A. Biobriket pita ini berkaitan erat dengan struktur polisakarida penyusun pati, yaitu amilopektin dan amilosa, pada senyawa itu mempunyai rantai karbon panjang dengan banyak gugus (C–H) pada bilangan 2875 cm^{-1} terdapat pada Gambar 4. 3B (Asrofi et al. 2018).

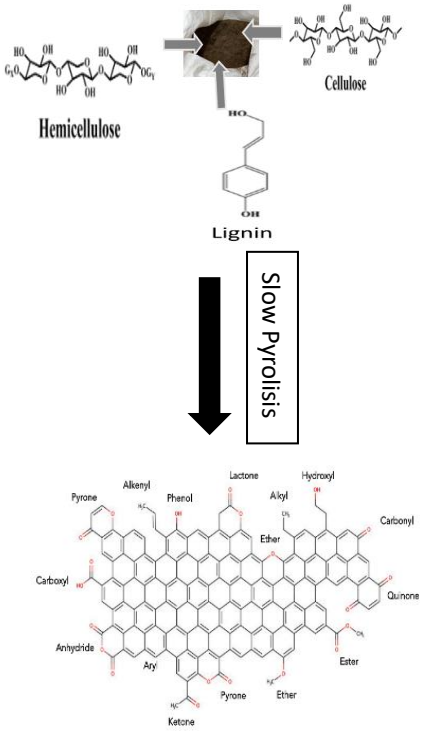


Gambar 4. 4 Hasil FTIR Amilosa (α-1,4-glukosidik)

Spektrum FTIR tapioka, maizena, beras ketan, dan sagu memiliki bilangan gelombang seperti ditunjukkan pada puncak 3300-3500 cm^{-1} tedapat gugus (O-H) (S. Wahyuni et al. 2025). Spektrum pada 1150 cm−1 terjadi peregangan (C–O) dan (C–C). Wilayah antara 700 dan 1500 cm^{-1} terdapat molekul glukosa. Penyerapan yang kuat sekitar 760 cm−1 membuktikan adanya ikatan α-1,4-glukosidik terlihat pada Gambar 4. 4 (Sheng et al. 2018). Penyerapan inframerah tepung tapioka pada 992 cm^{-1} disebabkan oleh ikatan glikosidik pada pati dan memiliki spektra yang curam, perbedaan proporsi amilosa terhadap amilopektin dalam pati. Puncak serapan pada 1150 cm^{-1} terjadi peregangan (C–O) dan (C–C) (Deeyai et al. 2013).

Tabel 4. 17 Spektra FTIR dan Identifikasi Gugus Fungsi

Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Sampel									
		FT	BC	BBFT-PT	BBFT-PJ	BBFT-PB	BBFT-PS	PT	PJ	PB	PS
3726-3616	N-Hs Si-OH	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
3600-3000	O-Hs	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+
2860-2970	C-H_s	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1725-1700	C=O	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
1588	C=C	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
1680-1620	C=Cs	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
1000-1300	C-O C-H_b Si-O_s	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+
993	C-O-H_b	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
788–400	C-H_b	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+



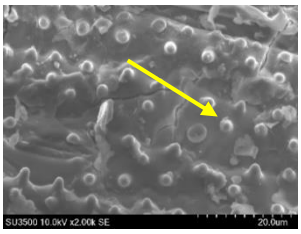
Gambar 4. 5 Perubahan Struktur Biomassa Menjadi Biochar Setelah Proses Pirolisis (Lu and Gu 2022) (Hainur Aini et al. 2023)

Gambar 4. 5 mengilustrasikan perubahan dalam struktur lignoselulosa dalam biomassa *fluff* teh berubah menjadi biochar memiliki sifat amorf dengan gugus fungsional yang berbeda. Konversi ini terjadi selama proses pirolisis di mana komponen selulosa, hemiselulosa, dan pirolisis lignin terpapar struktur karbon yang lebih

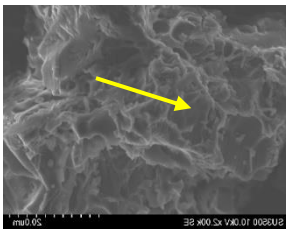
stabil dengan sifat fungsional yang berbeda terjadi penurunan (OH) dan (C-H) alifatik.

6. Hasil Analisis SEM Bahan Baku, Biochar dan Biobriket

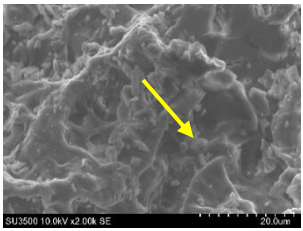
Karakteristik lanjut pada bahan baku, biochar dan biobriket dilakukan menggunakan analisis SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*) merk HITACHI SU3500 dari Pusat Penelitian Fisika, BRIN, Serpong. Tujuan dari analisis SEM yaitu untuk mengetahui perubahan struktur dan morfologi pada permukaan sampel sebelum dan sesudah dilakukan pirolisis serta setelah menjadi biochar, sedangkan untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat pada sampel dilakukan menggunakan EDX. Analisis morfologi dilakukan dengan perbesaran 2.000 kali. Hasil analisis morfologi permukaan pada penelitian ini disajikan dalam bentuk Gambar 4. 6 berikut.



A



B



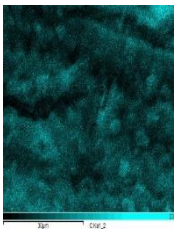
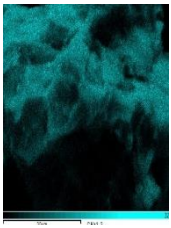
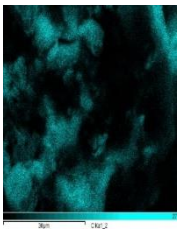
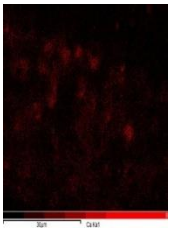
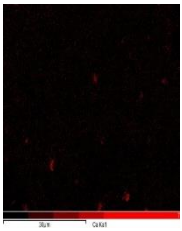
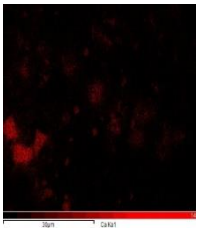
C

Gambar 4. 6 Hasil Analisis SEM Bahan Baku *Fluff* Teh Sebelum (A), Biochar Fluff Teh (B), dan Biobriket Fluff Teh (C)

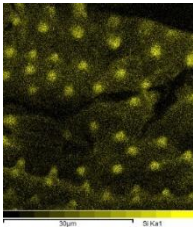
Berdasarkan Gambar 4. 6 dapat dilihat bahwa setiap sampel memiliki bentuk morfologi yang berbeda-beda. Morfologi permukaan biomassa dan biocharnya setelah pirolisis ditentukan dengan analisis SEM yang dipadukan dengan perangkat sinar-X dispersif energi (EDX). Morfologi biochar menunjukkan perbedaan luas permukaan yang luar biasa dibandingkan dengan biomassa (Hadey et al. 2022). Gambar SEM yang disajikan pada Gambar 4. 6A menunjukkan bahwa biomassa fluff teh memiliki struktur tertutup, lunak dan pori-pori. (Adeniyi, Ighalo, and Onifade 2020) melaporkan bahwa porositis pada biochar lebih tinggi sehingga pori-pori pada biochar telihat lebih besar dan jelas. Perubahan morfologi pada biochar ini dapat disebabkan karena adanya proses yang melibatkan suhu (Yaashikaa et al. 2020). Pada Gambar 4.

6 ditemukan bahwa permukaan biobriket permukaan briket menjadi lebih rapat dan tertutup (Gan et al. 2025).

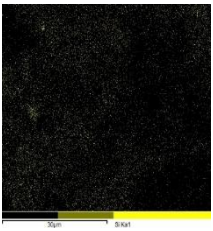
Tabel 4. 18 Gambar Unsur Hasil Analilsis SEM

Unsur	Fluff Teh	Biochar	Biobriket
C			
Ca			
K			

Si



-



Tabel 4. 19 menunjukkan adanya senyawa C, Ca, K dan Si yang terdapat pada bahan baku *fluff* teh, biochar, dan biobriket. Unsur yang terdekteksi ada Al, C, Ca, Cl, K, Mg, P, S, dan Si. Pada hasil SEM-EDX tidak terdeteksi unsur silika yang terdapat pada biochar. Tabel 4. 19 menunjukkan jumlah unsur yang terdapat pada bahan baku *fluff* teh (FT), biochar (BC), dan biobriket (BBFT).

Tabel 4. 19 Perbandingan Hasil Analisis EDX Antara Bahan Baku *Fluff* Teh

Unsur	*Fluff* Teh	Biochar	Biobriket
	Massa%	Massa%	Massa%
C K	89.89	94.64	89.71
Mg K	0.20	0.31	0.52
Al K	0.22	0.40	0.40
Si K	6.31	-	0.06
P K	0.15	0.64	0.63

S K	0.20	0.19	0.29
Cl K	0.08	0.08	0.16
K K	1.46	3.48	4.91
Ca K	1.49	0.25	3.31
Total	100.00	100.00	100.00

Hasil analisis EDX menunjukkan adanya perubahan komposisi unsur selama proses konversi bahan baku *fluff* teh (FT), biochar (BC), dan biobriket (BBFT). Pada data Tabel 4. 19 mempresentasikan unsur yang terdeteksi pada sampel dengan titik tertentu. Namun, tidak mewakili keseluruhan permukaan sampel secara kuantitatif. Magnesium dari bahan baku, biochar dan biobriket dengan nilai naik yaitu 0,20%, 0,31% dan 0,52%. Silikon (Si) tidak terdeksi pada sampel biochar, akan tetapi muncul *fluff* teh dengan jumlah 6,31% dan terjadi penurunan pada biobriket dengan jumlah 0,06%. Analisis kandungan silikon (Si) juga penting dengan pengaruh kelemahan dari penggunaan biobriket biomassa adalah tingginya konsentrasi silikon, yang menyebabkan sejumlah besar abu diproduksi selama pembakaran menyebabkan masalah operasional (Ravindiran et al. 2024).

BAB V
PENUTUPAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan rangkain penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis nilai kalor, laju pembakaran, dan kadar karbon, perekat maizena dengan konsentrasi 5% merupakan formulasi optimum dalam pembuatan biobriket berbasis biochar dari *fluff* teh. Nilai kalor tertinggi sebesar 5885,89 kal/g, kadar karbon 59,1% dan waktu pembakaran 2896 detik.
2. Karakteristik fisik dan morfologi yang diamati melalui uji FTIR dan SEM menunjukkan bahwa struktur biobriket dengan formulasi terbaik dalam pengembangan biobriket *fluff* teh yaitu biobriket perekat maizena 5% sudah sesuai untuk mendukung efisiensi pembakaran dan kestabilan fisika biobriket berbasing *fluff* teh.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan hasil pembuatan biobriket dengan berbagai macam jenis perekat, berikut saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Secara ekonomi pembuatan biobriket yang lebih murah menggunakan perekat tepung tapioka dengan harga yang lebih murah dan dapat di dapatkan biobriket yang lebih banyak.
2. Tepung maizena memiliki harga yang lebih mahal dari tepung lainnya.
3. Hasil pembakaran yang lebih lama yaitu pada biobriket perekat tepung tapioka dengan konsentrasi 15% dan memiliki harga jual tepung yang murah.
4. Saat melakukan penelitian harus memiliki konsentrasi yang tinggi supaya tidak terjadi kebakaran saat melakukan uji laju pembakaran.
5. Untuk meningkatkan efisiensi dan keseragaman dalam pembuatan biobriket, disarankan melakukan proses pencampuran menggunakan mesin otomatis. Dengan menggunakan mesin, campuran yang dihasilkan akan lebih merata dibandingkan jika dicampur secara manual, sehingga kualitas dan performa biobriket yang dihasilkan akan lebih konsisten.
6. Disarankan agar analisis kadar air dilakukan di tempat tertutup supaya tidak banyak orang yang lewat supaya hasil dari kadar air lebih tepat. Dikarenakan angin dapat merubah hasil dari kadar air yang tepat dan lebih baik di ulangi lagi dari awal.

DAFTAR PUSTAKA

Adeniyi, Adewale George, Joshua O. Ighalo, and Damilola Victoria Onifade. 2020. "Biochar from the Thermochemical Conversion of Orange (Citrus Sinensis) Peel and Albedo: Product Quality and Potential Applications." *Chemistry Africa* 3 (2): 439–48. https://doi.org/10.1007/s42250-020-00119-6.

Adoe, Dominggus G H, Wenseslaus Bunganaen, Ika F Krisnawi, and Ferdyan A Soekwanto. 2016. "Pirolisis Sampah Plastik PP (Polyprophylene) Menjadi Minyak Pirolisis Sebagai Bahan Bakar Primer." *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana* 3 (1): 17–26.

Aeni, Suci Rizki Nurul. 2022. "Pemanfaatan Ampas Daun Teh Pada Proses Biosorpsi Logam Berat Cr(VI) Pada Air Sungai Citarum." *Jurnal Penelitian Saintek* 2 (27): 103–11. https://doi.org/10.21831/jps.v2i27.52841.

Afriani, Cut Dewi, Evi Yufita, and Nurmalita. 2017. "Nilai Kalor Briket Tempurung Kemiri Dan Kulit Asam Jawa Dengan Variasi Ukuran Partikel Dan Tekanan Pengepresan." *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)* 6 (1): 6–9.

Aini, Hainur, Puspita Rahayu, Hafiizh Prasetia, Egi Agustian, and Anny Sulaswatty. 2023. "Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Karakteristik Biochar Limbah Padat Agroindustri Teh." *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi* 2 (6): 1167–

77. https://doi.org/10.55123/insologi.v2i6.3059.

Aisyah, Iis Siti, Ali Saifullah, and Taufik Satya. 2017. "Proses Desain Dan Pengujian Mesin Press Hidrolik Briket Limbah Bambu." In *Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa (SENTRA) 2017*, 2527–6050.

Aisyah, Octasya Amalia, Azzahra Ghina Fadillah, and Firdaus. 2023. "Pembuatan Biochar Dari Limbah Buah Ketapang (Terminalia Catappa) Dengan Meode Pirolisis."

Aladin, A., B. Modding, T. Syarif, and F. C. Dewi. 2021. "Effect of Nitrogen Gas Flowing Continuously into the Pyrolysis Reactor for Simultaneous Production of Charcoal and Liquid Smoke." *Journal of Physics: Conference Series* 1763 (1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1763/1/012020.

Alfajriandi, Faizah Hamzah, and Farida Hanum Hamzah. 2017. "Perbedaan Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Briket Arang Daun Pisang Kering." *JOP Faperta UR* 4 (1): 1–15.

Aljarwi, Muh. Arafatir, Dwi Pangga, and Sukainil Ahzan. 2020a. "Uji Laju Pembakaran Dan Nilai Kalor Briket Wafer Sekam Padi Dengan Variasi Tekanan." *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika* 6 (2): 200–206. https://doi.org/10.31764/orbita.v6i2.2645.

———. 2020b. "Uji Laju Pembakaran Dan Nilai Kalor Briket Wafer Sekam Padi Dengan Variasi Tekanan." *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika* 6 (2): 200. https://doi.org/10.31764/orbita.v6i2.2645.

Aller, M. Fernanda. 2016. “Biochar Properties: Transport, Fate, and Impact.” *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 46 (14–15): 1183–1296. https://doi.org/10.1080/10643389.2016.1212368.

Almu, M. Afif, Syahrul, and Yesung Allo Padang. 2014. “Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Pada Briket.” *Dinamika Teknik Mesin* 4 (2): 117–22.

Amrullah, Apip, Obie Farobie, Asep Bayu, Novi Syaftika, Edy Hartulistiyoso, Navid R. Moheimani, Surachai Karnjanakom, and Yukihiko Matsumura. 2022. “Slow Pyrolysis of Ulva Lactuca (Chlorophyta) for Sustainable Production of Bio-Oil and Biochar.” *Sustainability (Switzerland)* 14 (6): 1–14. https://doi.org/10.3390/su14063233.

Amrullah, Shafwan, and Cyrilla Oktaviananda. 2023. “Karakterisasi Briket Bonggol Jagung Dengan Variasi Konsentrasi Tepung Beras Ketan Sebagai Perekat.” *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)* 8 (1): 15–20. https://doi.org/10.30869/jtpg.v8i1.1142.

Anizar, Heny, Evi Sribudiani, and Sonia Somadona. 2020. “Pengaruh Bahan Perekat Tapioka Dan Sagu Terhadap Kualitas Briket Arang Kulit Buah Nipah.” *Perennial* 16 (1): 11–17. http://dx.doi.org/10.24259/perennial.v16i1.9159.

Ansar Ansar, Budi Rahardjo, Zuheid Noor, Suyitno Suyitno. 2020. “Pengaruh Gaya Pengepresan Terhadap Perubahan Suhu Badan Pada Pembuatan Tablet Effervescent Buah Markisa”

26 (1).

Ariwidyanata, Raka, Yusuf Wibisono, Dan Ary, Mustofa Ahmad, Jurusan Keteknikan, Pertanian -Fakultas Teknologi, Pertanian -Universitas Brawijaya, Jl Veteran, and Penulis Korespondensi. 2019. "Karakteristik Fisik Briket Dari Campuran Serbuk Teh Dan Serbuk Kayu Trembesi (Samanea Saman) Dengan Perekat Tepung Tapioka." *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem* 7 (3): 245–52.

Asmunandar, Andi, Fadjar Goembira, Slamet Raharjo, and Rati Yuliarningsih. 2023. "Evaluasi Pengaruh Suhu Dan Waktu Pirolisis Biochar Bambu Betung (Dendrocalamus Asper)." *Jurnal Serambi Engineering* 8 (1): 4760–71.

Asrofi, Mochamad, Hairul Abral, Yogi Kurnia Putra, S. M. Sapuan, and Hyun Joong Kim. 2018. "Effect of Duration of Sonication during Gelatinization on Properties of Tapioca Starch Water Hyacinth Fiber Biocomposite." *International Journal of Biological Macromolecules* 108: 167–76. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.165.

Ayu, Futri. 2023. "Pengaruh Komposisi Biochar Ranting, Fluff Teh Menggunakan Perekat Getah Damar Terhadap Kualitas Biobriket Dengan Pendekatan Response Surface Methodology (RSM)." Banjar Baru: UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT.

Aziz, M Rifqi, Ahdiat Leksi Siregar, Azhar Basyir Rantawi, and Istianto Budhi Rahardja. 2019. "Pengaruh Jenis Perekat Pada

Briket Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Waktu Bakar." *Prosiding SEMNASTEK Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 16 Oktober 2019. https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/5256.

Bazenet, Rahmi Adi, Wahyu Hidayat, Siti Mutiara Ridjayanti, Melya Riniarti, Irwan Sukri Banuwa, Agus Haryanto, and Udin Hasanudin. 2021. "Pengaruh Kadar Perekat Terhadap Karakteristik Briket Arang Limbah Kayu Karet (Hevea Brasiliensis Muell. Arg)." *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)* 10 (3): 283. https://doi.org/10.23960/jtep-l.v10i3.283-295.

Bhuyan, Bijoylaxmi. 2021. "Prospect of Biomass Briquette as Renewable Energy Source in Assam, India." *Current Science* 121 (6).

Budaya, Amalia, Syakinah, Maharani, Aryo Sasmita, and Edwars HS. 2021. "Analisis Kadar Abu Terhadap Kualitas Biochar Dari Cangkang Sawit." *Jom Fteknik* 8: 1–3.

Chen, Xiaojian, Wenrui Yao, Feifei Gao, Dingyuan Zheng, Qiong Wang, Jun Cao, Haiyan Tan, and Yanhua Zhang. 2021. "Physicochemical Properties Comparative Analysis of Corn Starch and Cassava Starch, and Comparative Analysis as Adhesive." *Journal of Renewable Materials* 9 (5): 789–992. https://doi.org/10.32604/jrm.2021.014751.

Cholilie, Irvan Adhin, and Larinda Zuari. 2021. "Pengaruh Variasi

Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket Berbahan Serabut Dan Tandan Buah Lontar (Borassus Flabellifer L.).” *Agro Bali : Agricultural Journal* 4 (3): 391–402. https://doi.org/10.37637/ab.v4i3.774.

Choudhary, Om Prakash, and Priyanka. 2017. “Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components.” *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6 (5): 1877–82. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.207.

Christy. 2023. “Analisis Risiko Produksi Teh Hitam Di PTPN IV Bah Butong Kabupaten Simalungun.”

Damayanti, Ayu Anisa, Ni Luh Putu Trisnawati, and Hery Suyanto. 2021. “Identifikasi Bilangan Gelombang Daun Sirih (Piper Sp.)Menggunakan Metode Spektroskopi Fourier Transform (FTIR) Dan Principal Component Analysis (PCA).” *Buletin Fisika* 22 (2): 60–66.

Deeyai, P., M. Suphantharika, R. Wongsagonsup, and S. Dangtip. 2013. “Characterization of Modified Tapioca Starch in Atmospheric Argon Plasma under Diverse Humidity by FTIR Spectroscopy.” *Chinese Physics Letters* 30 (1): 3–6. https://doi.org/10.1088/0256-307X/30/1/018103.

Dewi, Cahyani, and Restu Wulansari. 2023. “Pengaruh Aplikasi Kompos Tea Fluff Dan Azotobacter Sp. Terhadap Sifat Fisik Tanah Dan Pertumbuhan Bibit Pada Persemaian Teh.” *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan* 10 (1): 135–42.

https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.15.

Dyah Siswati, Nana, Nur Laily Agustina, and Dinda Mahdiyyah Santoso. 2022. "Biochar Dari Cangkang Biomasa Dengan Proses Karbonisasi." *Jurnal Teknik Kimia* 16 (2): 61–66.

Efelina, Vita, Viktor Naubnome, and Dessy Agustina Sari. 2018. "Biobriket Limbah Kulit Durian Dengan Pencelupan Pada Minyak Jelantah." *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles* 1 (2): 37–42.

Eka Putri, Renny, and Andasuryani Andasuryani. 2017. "Studi Mutu Briket Arang Dengan Bahan Baku Limbah Biomassa." *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas* 21 (2): 143. https://doi.org/10.25077/jtpa.21.2.143-151.2017.

Elnour, Ahmed Y., Abdulaziz A. Alghyamah, Hamid M. Shaikh, Anesh M. Poulose, Saeed M. Al-Zahrani, Arfat Anis, and Mohammad I. Al-Wabel. 2019. "Effect of Pyrolysis Temperature on Biochar Microstructural Evolution, Physicochemical Characteristics, and Its Influence on Biochar/Polypropylene Composites." *Applied Sciences (Switzerland)* 9 (6): 7–9. https://doi.org/10.3390/app9061149.

Elwina, Ratni Dewi, Syafruddin, Zuhra Amalia, and Muhammad Fadhil. 2022. "Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Biobriket Berbasis Ampas Kopi Arabica Dan Robusta Dengan Metode Densifikasi." *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* 6 (1): 206–11.

Energy, H Prasetia - International Journal of Renewable, and undefined 2025. 2025. “Biobriquettes from Tea Fluff Biochar: A Response Surface Methodology Study on Resin Gum-Adhesive and Used Cooking Oil Integration.” *Ijred.Cbiore.Id* 14 (5): 854–68. https://ijred.cbiore.id/index.php/ijred/article/view/60877.

Felix, Charles B., Wei Hsin Chen, Aristotle T. Ubando, Young Kwon Park, Kun Yi Andrew Lin, Arivalagan Pugazhendhi, Thanh Binh Nguyen, and Cheng Di Dong. 2022. “A Comprehensive Review of Thermogravimetric Analysis in Lignocellulosic and Algal Biomass Gasification.” *Chemical Engineering Journal* 445 (May): 136730. https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136730.

Fika, Harsena Hayas, Shintia Elsytia, and Aryo Sasmita. 2021. “Analisis Fixed Carbon Biochar Dengan Bahan Baku Sekam Padi” 8 (2009): 8–10.

Firdaus, Muhammad, Hendri Nurdin, Bunga Kelapa Sawit, Tepung Tapioka, and Nilai Kalor. 2019. “Analisis Nilai Kalor Briket Bunga Kelapa Sawit Menggunakan Perekat Tapioka Dan Damar.” *Jurnal of Multidicsiplinary Research and Development*, 491–96.

Fuadi, Nurul, Muh. Said Lanto, and Muhammad Aswad Asaf. 2022. “Uji Sifat Fisis Komposit Limbah Serbuk Kayu Dan Tempurung Kelapa.” *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi* 16 (1): 121–29.

https://doi.org/10.24252/teknosains.v16i1.26647.

Furqan, Muhammad Alif, Syamsul Bahri, and Rizka Mulyawan. 2025. “Pembuatan Briket Dari Tempurung Kelapa Dengan Variasi Jenis Perekat Organik (Bonggol Pisang , Ubi Kayu Dan Biji Nangka)” 1 (April): 23–34.

Gan, Qingqing, Bingyan Dong, Jiang Xu, and Shoujian Peng. 2025. “Effect of Heating Temperature on Pore Structure of Briquette Coal Using SEM, NMR, N2/CH4 Adsorption-Desorption Analyses.” *Scientific Reports* 15 (1): 1–16. https://doi.org/10.1038/s41598-025-90353-0.

Haberle, Inge, Øyvind Skreiberg, Joanna Łazar, and Nils Erland L. Haugen. 2017. “Numerical Models for Thermochemical Degradation of Thermally Thick Woody Biomass, and Their Application in Domestic Wood Heating Appliances and Grate Furnaces.” *Progress in Energy and Combustion Science* 63: 204–52. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.07.004.

Hadey, Chaimaa, M. Allouch, M. Alami, F. Boukhlifi, and I. Loulidi. 2022. “Preparation and Characterization of Biochars Obtained from Biomasses for Combustible Briquette Applications.” *Scientific World Journal* 2022. https://doi.org/10.1155/2022/2554475.

Hainur Aini, Puspita Rahayu, Alizar Ulianas, Egi Agustian, and Anny Sulaswatty. 2023. “Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Karakteristik Biochar Dari Limbah Padat

Agroindustri Teh." *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi* 2 (6): 1173–83. https://doi.org/10.55123/insologi.v2i6.3059.

Harahap, Nurlaila Sari, and Ety Jumiati. 2022. "Analisis Sifat Fisika Dan Kimia Terhadap Pembuatan Briket Arang Limbah Biji Salak Dengan Variasi Perekat Tepung Tapioka Dan Tepung Sagu." *Jurnal Fisika Unand* 12 (1): 115–23. https://doi.org/10.25077/jfu.12.1.115-123.2023.

Hardyanti, Vuza. 2019. "Pemanfaatan Limbah Pengolahan Teh Hitam Untuk Pembuatan Briket Dengan Menggunakan Pengikat (Tepung Tapioka, Tanah Liat, Dan Semen)." *Applied Microbiology and Biotechnology* 85 (1): 2071–79. http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.07.003%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.080%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.bbapap.2013.06.007%0Ahttps://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2018.02309/full%0Ahttp://dx.doi.org/10.1007/s13762-.

Haryanti, Ninis Hadi, Nova Annisa, Hafiizh Prasetia, Suryajaya, Nida Humaida, Nurhalimah, and Anny Sulaswatty. 2023. "Manufacture of Biobriquettes from Alaban (Vitex Pubescens) Biomass Waste and Rubber Seed Shells Using Damar Resin Adhesive." *Pakistan Journal of Life and Social Sciences* 21 (1): 194–204. https://doi.org/10.57239/PJLSS-2023-21.1.0016.

Haryanto & Titani, Fena Retya. 2017. "Bioplastik Dari Tepung Tapioka Dan Tepung Maizena." *Jurnal Techno* 18 (1): 1–6.

Herawati, Heny. 2012. "Teknologi Proses Produksi Food Ingredient Dari Tapioka Termodifikasi." *Litbang Pertanian* 31 (12): 68–76.

Herman, Stephen, Program Studi, Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Ramdani Ade Saputra, et al. 2019. "Analisis Struktur Ko-Sebaran Indikator Terkait Kesehatan, Pusat Rasa Sehat Subjek, Dan Lansia Yang Tinggal Di Rumah." *Jurusan Teknik Kimia USU* 3 (1): 18–23.

Heryani, Susi, and Rhoito Frista Silitonga. 2018. "Penggunaan Tepung Sagu (Metroxylon Sp.) Asal Riau Sebagai Bahan Baku Kukis Cokelat." *Warta Industri Hasil Pertanian* 34 (2): 53. https://doi.org/10.32765/wartaihp.v34i2.3591.

Hidayat, Wahyu, Irma Thya Rani, Tri Yulianto, Gumay Febryano, and Dewi Agustina Iryani. 2020. "Peningkatan Kualitas Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit Melalui Torefaksi Menggunakan Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB)." *Jurnal Rekayasa Proses* 14 (2): 169–81. https://doi.org/10.22146/jrekpros.59172.

Ilham, Ilham, Khoiriyah Khoiriyah, and Surya Afdal. 2024. "Edukasi Terkini : Jurnal Edukasi Terkini : Jurnal." *Edukasi Terkini : Jurnal Pendidikan Modern* 6 (1): 66–75. https://journalpedia.com/1/index.php/jpm.

Ilmiah, Jurnal, Teknologi Pertanian, Razhika Faradila, Soni Sisbudi Harsono, and Yuni Lasari. 2024. "Karakteristik

Biochar Limbah Bubuk Kopi Produksi UMKM Kopi Tirtoyudo , Malang Selatan The Characteristics of Coffee Grounds Waste Biochar Produced in Tirtoyudo Coffee Small and Medium Enterprises , South Malang" 9: 9–15.

Imam Ardiansyah, Arief Yandra Putra, and Yelfira Sari. 2022. "Analisis Nilai Kalor Berbagai Jenis Briket Biomassa Secara Kalorimeter." *Journal of Research and Education Chemistry* 4 (2): 120. https://doi.org/10.25299/jrec.2022.vol4(2).10735.

Inkson, B. J. 2016. "Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization." In *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*, 17–43. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X.

Irbah, Yubdina Nurfazlia, Tatun Hayatun Nufus, and Noor Hidayati. 2022. "Analisis Nilai Kalori Dan Laju Pembakaran Briket Campuran Cangkang Nyamplung Dan Tempurung Kelapa." In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 689–94.

Iriany, Firman Abednego Sarwedi Sibarani, and Meliza. 2016. "Pengaruh Perbandingan Tempurung Kelapa Dan Eceng Gondok Serta Variasi Ukuran Partikel Terhadap Karakteristik Briket." *Jurnal Teknik Kimia USU* 5 (3): 56–61. https://doi.org/10.32734/jtk.v5i3.1546.

Irmawati, Irmawati. 2020. "Analisis Sifat Fisik Dan Kimia Briket Arang Dari Bonggol Jagung." *Journal Of Agritech Science*

(JASc) 4 (1): 24–29. https://doi.org/10.30869/jasc.v4i1.569.

Iskandar, T, and H Poerwanto. 2015. "Identifikasi Nilai Kalor Dan Waktu Nyala Hasil Kombinasi Ukuran Partikel Dan Kuat Tekan Pada Bio-Briket Dari Bambu." *Jurnal Teknik Kimia* 9 (2): 33–37. http://eprints.upnjatim.ac.id/6971/1/1._JOURNAL_PDP_TAUFIK-1.pdf.

Iskandar, Taufik. 2012. "Jagung Dan Sekam Padi Pada Proses Pirolisis Identification Value of Heat Biochar From Cob And." *Jurusan Teknik Kimia* 7: 32–35.

Iskandar, Taufik, and Umi Rofiatin. 2017a. "Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa Dan Parameter Proses Pyrolisis." *Jurnal Teknik Kimia* 12 (1): 28–34. https://doi.org/10.33005/tekkim.v12i1.843.

———. 2017b. "Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa Dan Parameter Proses Pyrolisis Biochar Characteristics Based on Biomass Types and Pyrolysis Process Parameters." *Teknik Kimia* 12 (1): 28–34.

Ismayana, Andes, and dan Moh Rizal Afriyanto. 2021. "Pengaruh Jenis Dan Kadar Bahan Perekat Pada Pembuatan Briket Blotong Bahan Bakar Alternatif." *J. Tek. Ind. Pert* 186 (3): 186–93.

Jaswella, Rini Widya Ayu, Sudding Sudding, and Ramdani Ramdani. 2022. "Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Briket Arang Tempurung Kelapa." *Chemica: Jurnal*

Ilmiah Kimia Dan Pendidikan Kimia 23 (1): 7. https://doi.org/10.35580/chemica.v23i1.33903.

Jiang, Ke Mao, Chao Ge Cheng, Min Ran, Yong Gen Lu, and Qi Lin Wu. 2018. "Preparation of a Biochar with a High Calorific Value from Chestnut Shells." *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials* 33 (2): 183–87. https://doi.org/10.1016/S1872-5805(18)60333-6.

Kale, Jefrianti, Yoslin Rinaldi Mula, Taufik Iskandar, and Sinar Perbawani Abrina. 2019. "Optimalisasi Proses Pembuatan Briket Arang Bambu Dengan Menggunakan Perekat Organik." *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur (SENTIKUIN)* 2: 1–7.

Koto, Indra, Sahala Siallagan, Lisyanto, and Agus Noviar Putra. 2019. *Modul Bioarang Organik Energi Alternatif*. Medan: Yayasan Kita Menulis.

Kusman, Hardi. 2024. "Jurnal Biologi Tropis The Use of Biochard for Improving Soil Quality and Environmental Services."

Kusmartono, Bambang, Alifani Situmorang, and Murni Yuniwati. 2021. "Pembuatan Briket Dari Tempurung Kelapa (Cocos Nucivera) Dan Tepung Terigu." *Jurnal Teknologi* 14 (2): 142–49. https://doi.org/10.34151/jurtek.v14i2.3770.

Lu, Xinyu, and Xiaoli Gu. 2022. *A Review on Lignin Pyrolysis: Pyrolytic Behavior, Mechanism, and Relevant Upgrading for Improving Process Efficiency*. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. Vol. 15. BioMed Central.

https://doi.org/10.1186/s13068-022-02203-0.

Mahfuddara, Mahfuddara, Syamsul Bahri, Eddy Kurniawan, Jalaluddin Jalaluddin, and Zulnazri Zulnazri. 2023. "Hidrolisa Kulit Singkong (Manihot Utilisima Pohl) Menjadi Glukosa Cair Menggunakan Katalis HCl." *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)* 3 (1): 1. https://doi.org/10.29103/cejs.v3i1.7473.

Masta, Ngia. 2020. *Scanning Electron Microscopy*. Jakarta: Universitas Kristen Indonesia.

Mauritio, Porto, Melya Riniarti, and Wahyu Hidayat. 2022. "Pengaruh Variasi Suhu Torefaksi Terhadap Perubahan Warna Dan Sifat Fisik Pelet Kaliandra (Calliandraa Calothyrsus)." *Warta Rimba : Jurnal Ilmiah Kehutanan* 10 (5): 1–7.

Milya, Cut, Eddy Kurniawan, Lukman Hakim, Rozanna Dewi, and Muhammad Muhammad. 2023. "Pembuatan Briket Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Variasi Jenis Dan Persentase Perekat Tepung Tapioka Dan Tepung Beras." *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)* 3 (4): 505. https://doi.org/10.29103/cejs.v3i4.9913.

Moeksin, Rosdiana Moeksin, Fitri Febrianti, and Ade Octavirosa. 2017. "Pemanfaatan Limbah Baglog Jamur Sebagai Biobriket Dengan Penambahan Getah Damar Dan Tepung Kanji Sebagai Perekat." *Jurnal Teknik Kimia* 23 (4): 238–44.

Muhlis, Ahmad Marzuki, Sahara, and Nurul Fuadi. 2019. "Uji

Kualitas Biobriket Campuran Tempurung." *Jft* 6 (1): 16–25.

Nachenius, R. W., F. Ronsse, R. H. Venderbosch, and W. Prins. 2013. *Biomass Pyrolysis*. *Advances in Chemical Engineering*. 1st ed. Vol. 42. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386505-2.00002-X.

Nandiyanto, Asep Bayu Dani, Rosi Oktiani, and Risti Ragadhita. 2019. "How to Read and Interpret Ftir Spectroscope of Organic Material." *Indonesian Journal of Science and Technology* 4 (1): 97–118. https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806.

Nasrul, Rofiah Hidayati, and Trisnawati Ade. 2021. "Teknologi Pemanfaatan Limbah." *NBER Working Papers*, 89. http://www.nber.org/papers/w16019.

Nasution, Lita, and Rena Arifah Simbolon. 2022. *Pengembangan Energi Alternatif Dengan Briket Arang Melalui Pemanfaatan Sampah Organik*. Medan: UMSU Press.

Ningsih, Ardina. 2019. "Analisis Kualitas Briket Arang Tempurung Kelapa Dengan Bahan Perekat Tepung Kanji Dan Tepung Sagu Sebagai Bahan Bakar Alternatif." *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)* 7 (2): 101–10. https://doi.org/10.32487/jtt.v7i2.708.

Ningsih, Erlinda, Kartika Udyani, Agus Budianto, Nur Hamidah, and Siti Afifa. 2020. "Pengaruh Ukuran Partikel Arang Dari Limbah Tutup Botol Plastik Terhadap Kualitas Briket." *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik* 36 (2): 101.

https://doi.org/10.20543/mkkp.v36i2.6140.

Nisavira, Prismatika, Egi Agustian, Muhammad Al Muttaqi, Yanni Sudayani, Yustinah Yustinah, Ratri Ariatmi Nugrahani, Indah Kurniasari, Dayu Dian Perwata Sari, and Anny Sulaswatty. 2023. "Nisavira, P., Agustian, E., Muttaqii, M. A., Sudiyani, Y., Yustinah, Y., Nugrahani, R. A., ... & Sulaswatty, A. (2023, October). Characteristics of Biochar from Pyrolysis of Solid Waste Hydrodistillation of Cardamom Seed Oil (Amomum Cardamomum)." *AIP Conference Proceedings* 2902 (1).

Nisavira, Prismatika, Egi Agustian, Muhammad Al Muttaqii, Yanni Sudiyani, Yustinah Yustinah, Ratri Ariatmi Nugrahani, Indah Kurniasari, Dayu Dian Perwata Sari, and Anny Sulaswatty. 2023. "Characteristics of Biochar from Pyrolysis of Solid Waste Hydrodistillation of Cardamom Seed Oil (Amomum Cardamomum)." *AIP Conference Proceedings* 2902 (1). https://doi.org/10.1063/5.0173242.

Noerwijati, K. 2015. "Upaya Modifikasi Pati Ubikayu Melalui Pemuliaan Tanaman." *Buletin Palawija* 13 (1): 92–100.

Novita, Sri Aulia, Santosa, Nofialdi, Andasuryani, and Ahmad Fidholi. 2021. "Parameter Operasional Pirolisis Biomassa." *Agroteknika* 4 (1): 53–67.

Novita, Sri Aulia, Santosa Santosa, Nofialdi Nofialdi, Andasuryani Andasuryani, and Ahmad Fudholi. 2021. "Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa." *Agroteknika* 4

(1): 53–67. https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.105.

Nurhamida, Rusdianasari, and Zamhari M. 2023. "Jl. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang *." *Jurnal Teknologi* 23 (2): 106–12.

Pambudi, Aji, Moh Farid, and Haniffudin Nurdiansah. 2017. "Analisis Morfologi Dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bumbu Betung (Dendrocalamus Asper) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorbsi Suara." *Jurnal Teknik ITS* 6 (2): 441–44.

Pamungkas, Dimas Adji, Margianto, and Artono Raharjo. 2023. "Pengaruh Partikel Arang Sekam Padi Dan Tempurung Kelapa Pada Pengolahan Briket Dengan Getah Pohon Pinus." *Jurnal Teknik Elektro* 1 (1): 1–7.

Parinduri, Luthfi, and Taufik Parinduri. 2020. "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan." *Journal of Electrical Technology* 5 (2): 88–92. https://www.dosenpendidikan.

Pipit Muliyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, Tryana. 2020. "Tepung Beras." *Journal GEEJ* 7 (2): 4–17.

Pradana, Wibawa, and Anas Bunyamin. 2021. "Pemanfaatan Kayu Kaliandra Dan Limbah Teh Sebagai Bahan Baku Biobriket." *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas* 25 (1): 114. https://doi.org/10.25077/jtpa.25.1.46-51.2021.

Pratama, Aris Adhi, Dicky Shadewa, and Muhyin. 2018. "Pengaruh Komposisi Bahan Dasar Dan Variasi Jenis

Terhadap Nilai Kalor, Kadar Air, Kadar Abu Briket Campuran Sekam Padi Dan Tempurung." *Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin UNTAG Surabaya* 1 (2): 1–10.

Puspita, Vera, Syakur Syakur, and Darusman Darusman. 2021. "Karakteristik Biochar Sekam Padi Pada Dua Temperatur Pirolisis." *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian* 6 (4): 732–39. https://doi.org/10.17969/jimfp.v6i4.18404.

Putra, Hijrah Purnama, Luqman Hakim, Yebi Yuriandala, and Dianty Anggraini K. 2020. "Studi Kualitas Briket Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Perekat Limbah Nasi." *Jurnal Sains &Teknologi Lingkungan* 5 (1): 27–35. https://doi.org/10.20885/jstl.vol5.iss1.art4.

Putro, Sartono, Musabbikhah, and Suranto. 2015. "Variasi Temperatur Dan Waktu Karbonisasi Untuk Meningkatkan Nilai Kalor Dan Memperbaiki Sifat Proximate Biomassa Sebagai Bahan Pembuat Briket Yang Berkualitas." *Simposium Nasional RAPI XIV - 2015 FT UMS ISSN 1412-9612*, 282–88.

Qanitah, Qanitah, Yurdika Dwi Fatholah Akbar, Zeni Ulma, and Yuli Hananto. 2023. "Peningkatan Kualitas Briket Ampas Kopi Menggunakan Perekat Kulit Jeruk Melalui Metode Torefaksi Terbaik." *Journal of Engineering Science and Technology* 1 (1): 32–43. https://doi.org/10.47134/jesty.v1i1.3.

Qureshi, Khan Muhammad, Faisal Abnisa, and Wan Mohd Ashri

Wan Daud. 2019. “Novel Helical Screw-Fluidized Bed Reactor For Bio-Oil Production In Slow-Pyrolysis Mode: A Preliminary Study.” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 142 (January): 104605. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.04.021.

Rahayu Dyah L, Ratno Budiyanto. 2024. “Pengembangan Biobriket Sebagai Produk Lokal Guna Peningkatan Umkm Desa Bentelan.” *ABDISUCI : Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat* 2 (01): 19–23. https://doi.org/10.59005/j-abdisuci.v2i01.135.

Rahma, Siti. 2023. “Pemanfaatan Biochar Hasil Pirolisis Fluff Teh Sebagai Biobriket Dengan Perekat Getah Damar Dan Pencelupan Minyak Jelantah.” Banjar Baru: UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT.

Rahmadani, Faizah Hamzah, and Farida Hanum Hamzah. 2017. “Pembuatan Briket Arang Daun Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) Dengan Perekat Pati Sagu (Metroxylon Sago Rott.).” *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Riau* 4 (1): 1–11.

Ramadan, Aditya. 2022. “Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Dan Sampah Plastik Low Density Polyethylene Sebagai Bahan Baku Briket.” *Skripsi*, no. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Ravindiran, Gokulan, Lakshmi Keshav, P. Senthil Kumar, Ganesh

Prabhu Ganapathy, and Gayathri Rangasamy. 2024. "Production of Bio Briquettes from Gloriosa Superba Wastes-Turmeric Leaves (GSW-TL) with Cassava Starch Binder for Environment Sustainability." *Waste and Biomass Valorization* 15 (3): 1773–92. https://doi.org/10.1007/s12649-023-02185-6.

Riandis, Juliya Ascha, Agus Restu Setyawati, and Ari Susandy Sanjaya. 2021. "Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak (Plastic Waste Processing Using Pyrolysis Method into Fuel Oil)." *Jurnal Chemurgy* 05 (1): 8–14. http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TKp.

Ridhuan, Kemas, Dwi Irawan, and Rizki Inthifawzi. 2019. "Proses Pembakaran Pirolisis Dengan Jenis Biomassa Dan Karakteristik Asap Cair Yang Dihasilkan." *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 8 (1): 69–78. https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924.

Ridhuan, Kemas, Dwi Irawan, Yulita Zanaria, and Nugroho Adi. 2018. "Pengaruh Cara Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisisensi Aranag Dan Asap Cair Yang Dihasilkan." *Forum Grup Diskusi Teknologi Perguruan Tinggi Muhamadiyah (FGDT XI-PM)*, 141–50.

Ridjayanti, Siti Mutiara, Wahyu Hidayat, Rahmi Adi Bazenet, Irwan Sukri Banuwa, and Melya Riniarti. 2021. "Pengaruh Variasi Kadar Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Briket

Arang Limbah Kayu Sengon (Falcataria Mollucana).” *Jurnal Hutan Tropis* 6 (1): 38. https://doi.org/10.32522/ujht.v6i1.5597.

Ritonga, Halimahtussaddiyah, Ode Ahmad Nur Ramadhan, and Ode Sitti Khuzaimah. 2022. *Aplikasi Simultan Foliar Spray Nano Fertilizer TiO_2 Dan Hidrogel Sebagai Pembenah Tanah*. Pekalongan: PT. Nasya Expanding Management.

Rofiq, Mohammad Ainur, and Hardjono Hardjono. 2023. “Pengaruh Rasio Perekat Tepung Tapioka Terhadap Karakteristik Fisik Dan Pembakaran Briket Sabut Kelapa Dan Serbuk Gergaji Kayu Campuran.” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi* 9 (4): 401–11. https://doi.org/10.33795/distilat.v9i4.4208.

Rohman, Abdul. 2021. *Spektroskopi Vibrasional Teori Dan Aplikasinya Untuk Analisis Farmasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Ruddle, Anonim. 2009. “Taksonomi Dan Karakterisasi Sagu,” no. 1978: 6–18.

Saffar, Thana, Hassine Bouafif, Flavia Lega Braghiroli, Sara Magdouli, Armand Langlois, and Ahmed Koubaa. 2020. “Production of Bio-Based Polyol from Oxypropylated Pyrolytic Lignin for Rigid Polyurethane Foam Application.” *Waste and Biomass Valorization* 11 (11): 6411–27. https://doi.org/10.1007/s12649-019-00876-7.

Saputro, Danang Dwi, and Widi Widayat. 2016. “Karakterisasi

Limbah Pengolahan Kayu Sengon Sebagai Bahan Bakar Altrnatif." *Karakterisasi Limbah Pengolahan Kayu Sengon Sebagai Bahan Bakar Altrnatif* 14 (1): 21–29.

Sheng, Long, Peishan Li, Huiqing Wu, Yuanyuan Liu, Ke Han, Mostafa Gouda, Qunyi Tong, Meihu Ma, and Yongguo Jin. 2018. "Tapioca Starch-Pullulan Interaction during Gelation and Retrogradation." *Lwt* 96 (December 2017): 432–38. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.064.

Shobar, Evi Sribudiani, and Sonia Somadona. 2020. "Karakteristik Briket Arang Dari Limbah Kulit Buah Pinang Dengan Berbagai Komposisi Jenis Perekat." *Jurnal Sylva Lestari* 8 (2): 189–96. https://doi.org/10.23960/jsl28189-196.

Siahaan, Taufiq. 2018. "Pembuatan Syngas Menggunakan Updraft Gasifier Dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit (CKS) Dan Kulit Kopi (KK)." Jakarta: Universitas Negeri Syarif Hidayatullah.

Situmorang, Alfani Rosalinda, and Bambang Kusmartono. 2022. "Pembuatan Briket Tempurung Kelapa Dengan Menggunakan Perekat Tepung Terigu (Variabel Konsentrasi Perekat Dan Ukuran Partikel)." *Jurnal Inovasi Proses* 7 (1): 33–40. https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/JIP/article/view/4220.

Sugiharto, Agung, and Indah Dwi Lestari. 2021. "Briket Campuran Ampas Tebu Dan Sekam Padi Menggunakan Karbonisasi

Secara Konvensional Sebagai Energi Alternatif." *Jurnal Inovasi Teknik Kimia* 6 (1): 1–6. https://doi.org/10.31942/inteka.v6i1.4455.

Sulistyani, Martin, and Nuril Huda. 2018. "Perbandingan Metode Transmisi Dan Reflektansi Pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infra Red." *Indonesian Journal of Chemical Science* 7 (2): 195–98.

Syamsir, E., P. Hariyadi, D. Fardiaz, N. Andarwulan, and F. Kusnandar. 2020. "Karakterisasi Tapioka Dari Lima Varietas Ubi Kayu (Manihot Utilisima Crantz) Asal Lampung." *J Agrotek* 5 (1): 93–105.

Syarief, A, Mohammad Arzy Satria, and Andy Nugraha. 2020. "Pengaruh Ukuran Partikel Dan Variasi Komposisi Briket Pada Campuran Limbah Arang Kayu Alaban Dengan Sekam Padi Terhadap Karakteristik Briket Dan Pembakaran." *JMIO: Jurnal Mesin Industri Dan Otomotif* 1 (2): 6–16.

Syukri, Muhammad, Ika Ucha, Pradifta Rangkuti, Khaidir Ali, Tama Harahap, and Taufik Nurhidayat. 2024. "Jurnal Teknik Kimia USU Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Pada Pembuatan Bio-Briket Dari Pelepah Dan Tandan Buah Kosong Kelapa Sawit The Effect of Particle Size Variations on Bio-Briquettes from Palm Fronds and Empty Fruit Bunches" 13 (2): 146–53.

Tanaman, Latar Belakang, Berdasarkan Ditjenbun, Provinsi Jawa

Barat, Jawa Barat, Perkebunan Rakyat, and Menurut Pptk. 2019. “Tanaman Teh,” 1–2.

Udyani, Kartika, Erlinda Ningsih, and Mochammad Arif. 2018. “Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Yield Dan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Dari Bahan Limbah Kantong Plastik.” *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VI*, no. 2013: 389–94.

Ulma, Zeni, Murni Handayani, Arsita Nur Rizkia Putri, and Choirunnisa Firdaus Ivana. 2021. “Pengaruh Penekanan Terhadap Kadar Air , Kadar Abu , Dan Nilai Kalor Briket Dari Sludge Biogas Kotoran Sapi.” *JPPL (Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan)* 3 (02): 81–86. https://ejournal.pnc.ac.id/index.php/jppl.

Vachlepi, Afrizal, and Didin Suwardin. 2013. “Penggunaan Biobriket Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dalam Pengeringan Karet Alam.” *Warta Perkaretan* 32 (2): 65–73.

Wahyuni, Harini, Andi Aladin, Ruslan Kalla, Muhammad Nouman, Ardimas Ardimas, and MD. Shahariar Chowdhury. 2022. “Utilization of Industrial Flour Waste as Biobriquette Adhesive: Application on Pyrolysis Biobriquette Sawdust Red Teak Wood.” *International Journal of Hydrological and Environmental for Sustainability* 1 (2): 54–69. https://doi.org/10.58524/ijhes.v1i2.74.

Wahyuni, Sri, Febriana Muchtar, Ilian Elvira, Andi M. Laila Nugrawati, Nurchalisah M. Rustan, and Andi Dahlan. 2025.

"Physicochemical Properties of Sago Flour Formulated with White Sweet Potato Flour (Ipomea Batatas L.) and Saba Banana Flour (Musa Paradisiaca Forma Typical)." *BIO Web of Conferences* 169. https://doi.org/10.1051/bioconf/202516904007.

Wardani, Windi Indah, Idah Andriyani, Soni Sisbudi Harsono, and Dedy Wirawan. 2023. "Pengaruh Jumlah Perekat Tepung Tapioka Terhadap Campuran Briket Arang Bambu Dan Arang Tempurung Kelapa." *Jurnal Lingkungan Berkelanjutan* 3 (1): 1–11. https://jurnal.unej.ac.id/index.php/PROTEKSI/article/view/45181.

Wibowo, Tri Ismianto Restu, Melya Rinarti, Hendra Prasetya, Udin Hasanudin, Ainin Niwati, and Wahyu Hidayat. 2020. "Karakterisasi Arang Hayati Dari Limbah Kayu Sengon (Falcataria Moluccana) Dan Meranti (Shorea Sp.)." *Seminar Nasional Konservasi 21 April 2020: Konservasi Sumbedaya Alam Untuk Pembangunan Berkelanjutan*, 560–63.

Wijayanti, Hesti, Ruby Adijaya, and Gusti Muhammad Misuari. 2021. "Briquettes From Acacia Sawdust and Coconut Husk With Rubber Gum Adhesive." *Konversi* 10 (1): 18–24. https://doi.org/10.20527/k.v10i1.9861.

Wijayanti, Nanda Rizky Amalia, and Safinta Nurinda Rahmadhia. 2021. "Analisis Kadar Pati Dan Impurities Tepung Tapioka." *Jurnal Teknologi Pangan Dan Hasil Pertanian* 16 (2): 23.

https://doi.org/10.26623/jtphp.v16i2.4546.

Wu, Weidong, Jianhong Li, Nabeel Khan Niazi, Karin Müller, Yingchao Chu, Lingling Zhang, Guodong Yuan, Kouping Lu, Zhaoliang Song, and Hailong Wang. 2016. "Influence of Pyrolysis Temperature on Lead Immobilization by Chemically Modified Coconut Fiber-Derived Biochars in Aqueous Environments." *Environmental Science and Pollution Research* 23 (22): 22890–96. https://doi.org/10.1007/s11356-016-7428-0.

Wulandari, Dewi, Destria Roza, Muhammad Aswin Rangkuti, Yul Ifda Tanjung, Muhammad Fadlan Raihan, Syaugi Abdurrahman Abrori, and Irmaniar. 2022. *Fisika Dasar Berbasis STEM Untuk Mahasiswa Kimia*. Bandung: Media Sains Indonesia.

Wulansari, Restu, Anni Yuniarti, and Mieke Rochimi Setiawati. 2021. "Evaluation Growth of Tea Seedling and Population of Azotobacter Sp. from Application Compost of Green Tea Factory Waste (Tea Fluff) and Azobacter Sp. on Andisols." *International Journal of Natural Resource Ecology and Management* 6 (3): 156–62.

Yaashikaa, P. R., P. Senthil Kumar, Sunita Varjani, and A. Saravanan. 2020. "A Critical Review on the Biochar Production Techniques, Characterization, Stability and Applications for Circular Bioeconomy." *Biotechnology Reports* 28: e00570.

https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570.

Yanti, Rina Novia, Ambar Tri Ratnaningsih, and Hanifah Ikhsani. 2022a. "Pembuatan Bio-Briket Dari Produk Pirolisis Biochar Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif." *Jurnal Ilmiah Pertanian* 19 (1): 11–18. https://doi.org/10.31849/jip.v19i1.7815.

———. 2022b. "Pembuatan Bio-Briket Dari Produk Pirolisis Biochar Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif." *Jurnal Ilmiah Pertanian* 19 (1): 11–18. https://doi.org/10.31849/jip.v19i1.7815.

ZA, Nasrul, Leni Maulinda, Frandika Darma, and Meriatna Meriatna. 2021. "Pengaruh Komposisi Briket Biomassa Kulit Jagung Terhadap Karakteristik Briket." *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 9 (2): 35. https://doi.org/10.29103/jtku.v9i2.3668.

Ziliwu, Tehenasokhi, Andi Lisnawati, Farida Aryani, and Hamka. 2023. "Studi Pembuatan Briket Sekam Padi Dengan Penambahan Tepung Sagu Sebagai Perekat Pada Konsentrasi Yang Berbeda." *Buletin LOUPE* 19 (2): 220–25.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data dan perhitungan

1. Data dan Perhitungan ujiproksimat Bahan Baku dan Biochar *Fluff* Teh. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut.

Data Bahan Baku dan Biochar Fluff Teh

Analisis	Bahan Baku Fluff Teh	Biochar 8 mesh (AC)	Biochar 8 mesh (AD)	Biochar 8 mesh (AE)	Biochar 8 mesh (AF)	Biochar 8 mesh (AG)	Biochar 8 mesh (AB)
Kadar Air	9,195	3,76	2,79	3,505	3,28	2,96	3,23
Kadar Abu	5,84	10,89	11,61	10,89	11,09	10,76	5,78
Volatile matter	5,05	9,677	10,2	10,34	9,7	9,48	10,95
Fix Karbon	79,915	75,67%	75,4%	7526,50%	75,93%	76,8%	80,04%

2. Data dan Perhitungan Kadar Air Biobriket *fluff* teh Pengujian kadar air dilakukan menggunakan *moisture analyzer* dan diambil nilai rata-rata. Hasil perthitungan dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Partikel Size (Mesh)	Partikel Size (μm)	Perekat	Konsentrasi (%)	kadar air (%)				
					1	2	3	4	Rata-rata
1	35	500	Tapioka	5%	5,37	5,39	5,42	5,4	5,38
2	35	500	Tapioka	10%	5,48	5,72	5,69	5,7	5,6
3	35	500	Tapioka	15%	6,09	6,33	6,37	6,43	6,21
4	35	500	maizena	5%	5,88	5,79	4,85	4,8	4,825
5	35	500	maizena	10%	5,86	5,78	6,58	6,56	6,57
6	35	500	maizena	15%	5,67	5,6	6,89	6,82	6,855
7	35	500	beras	5%	5,53	5,6	5,15	5,93	5,565
8	35	500	beras	10%	5,72	5,75	5,57	5,98	5,735
9	35	500	beras	15%	5,96	5,89	6,01	5,96	5,925
10	35	500	sagu	5%	5,37	5,48	5,47	5,52	5,425
11	35	500	sagu	10%	6	5,81	5,79	6,12	5,905
12	35	500	sagu	15%	6,06	6,32	6,34	6,46	6,19

3. Data dan Perhitungan Kadar Abu Biobriket *Fluff* Teh

Rumus: $Kadar\ Abu\ (\%) = \frac{(Massa\ Cawan+Abu)-(Massa\ Cawan\ Kosong)}{Massa\ Sampel} \times 100\%$

Perhitungan: $Kadar\ Abu\ (\%) = \frac{71{,}2522-71{,}1890}{1{,}0005} \times 100\%$

Hasil dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Partikel Size (Mesh)	Partikel Size (µm)	Perekat	Konsentrasi (%)	pengulangan	Massa cawan kosong (g)	Massa sampel (g)	Massa cawan Abu (g)	Massa Abu (g)	Kadar Abu(%)	Rata-Rata
1	35	500	Tapioka	5%	A	32,3703	1,0007	32,467	0,0967	9,6632357	
					B	25,8336	1,0009	25,9293	0,0957	9,5613947	9,6123152
2	35	500	Tapioka	10%	A	26,1381	1,0004	26,2306	0,0925	9,2463015	
					B	26,2977	1,0008	26,3902	0,0925	9,2426059	9,2444537
3	35	500	Tapioka	15%	A	25,7488	1,0005	25,8363	0,0875	8,7456272	
					B	27,964	1,0007	28,0525	0,0885	8,8438093	8,7947183
4	35	500	Maizena	5%	A	30,0923	1,0008	30,1923	0,1	9,9920064	
					B	25,3349	1,0008	25,4338	0,0989	9,8820943	9,9370504
5	35	500	Maizena	10%	A	28,1761	1,0008	28,2749	0,0988	9,8721023	
					B	25,3519	1,0008	25,4482	0,0963	9,6223022	9,7472022
6	35	500	Maizena	15%	A	26,0289	1,0008	26,1162	0,0873	8,7230216	
					B	29,384	1,0006	29,4733	0,0893	8,9246452	8,8238334
7	35	500	Beras	5%	A	27,9641	1,0003	28,0547	0,0906	9,0572828	
					B	29,3847	1,0008	29,4737	0,089	8,8928857	8,9750843
8	35	500	Beras	10%	A	25,3347	1,0007	25,4244	0,0897	8,9637254	
					B	25,3536	1,0006	25,4429	0,0893	8,9246452	8,9441853
9	35	500	Beras	15%	A	26,0293	1,0003	26,1153	0,086	8,5974208	
					B	25,7489	1,0006	25,8343	0,0854	8,5348791	8,5661499
10	35	500	Sagu	5%	A	28,1774	1,0004	28,2732	0,0958	9,5761695	
					B	26,1385	1,0005	26,2341	0,0956	9,5552224	9,565696

11	35	500	Sagu	10%	A	26,278	1,0004	26,3899	0,1119	11,185526	
					B	30,0933	1,0007	30,1858	0,0925	9,2435295	10,214528
12	35	500	Sagu	15%	A	25,8346	1,0005	25,9219	0,0873	8,7256372	
					B	32,3699	1,0005	32,4577	0,0878	8,7756122	8,7506247

4. Data dan Perhitungan *Volatile Matter* (zat terbang) Biobriket *Fluff* Teh

   Rumus: $Volatile\ Matter\ (\%) = \frac{Massa\ zat\ terbang}{Massa\ sampel} \times 100\%$

   Perhitungan: $Volatile\ Matter\ (\%) = \frac{0{,}1553}{1{,}0003} \times 100\%$

   Hasil dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Partikel Size (Mesh)	Partikel Size (µm)	Perekat	Konsentrasi	Pengulangan	massa cawan kosong (g)	massa sampel (g)	Massa Abu	Massa cawan + sampel	massa cawan + sisa	massa zat terbang (g)	Kadar zat terbang	Rata-rata
1	35	500	Tapioka	5%	A	24,6994	1,0005	0,2655	25,6999	24,9649	0,735	73,46326837	
			Tapioka		B	27,1005	1,0004	0,2495	28,1009	27,35	0,7509	75,05997601	74,26162219
2	35	500	Tapioka	10%	A	27,958	1,0003	0,2007	28,9583	28,1587	0,7996	79,93601919	
			Tapioka		B	25,3282	1,0004	0,2006	26,3286	25,5288	0,7998	79,94802079	79,94201999
3	35	500	Tapioka	15%	A	26,0231	1,0003	0,1592	27,0234	26,1823	0,8411	84,08477457	
			Tapioka		B	26,1299	1,0002	0,1564	27,1301	26,2863	0,8438	84,36312737	84,22395097
4	35	500	Maizena	5%	A	25,7411	1,0007	0,1564	26,7418	25,8975	0,8443	84,37094034	
			Maizena		B	25,8246	1,0001	0,1633	26,8247	25,9879	0,8368	83,67163284	84,02128659
5	35	500	Maizena	10%	A	26,2904	1,0006	0,2472	27,291	26,5376	0,7534	75,29482311	
			Maizena		B	32,3653	1,0006	0,2457	33,3659	32,611	0,7549	75,44473316	75,36977813
6	35	500	Maizena	15%	A	29,379	1,0005	0,2655	30,3795	29,6445	0,735	73,46326837	
			Maizena		B	26,8831	1,0004	0,2683	27,8835	27,1514	0,7321	73,18072771	73,32199804
7	35	500	Beras	5%	A	25	1,0002	0,2445	25,7027	24,947	0,7557	75,55488902	
			Beras		B	27,7025	1,0003	0,498	28,7028	28,2005	0,5023	50,21493552	62,88491227
8	35	500	Beras	10%	A	27,1132	1,0006	0,1888	28,1138	27,302	0,8118	81,13132121	
			Beras		B	25,3313	1,0002	0,2079	26,3315	25,5392	0,7923	79,21415717	80,17273919
9	35	500	Beras	15%	A	26,0351	1,0003	0,1912	27,0354	26,2263	0,8091	80,88573428	
			Beras		B	26,1332	1,0009	0,3976	27,1341	26,5308	0,6033	60,27575182	70,58074305

10	35	500	Sagu	5%	A	25,7497	1	0,2056	26,7497	25,9553	0,7944	79,44	
			Sagu		B	25,8291	1,0002	0,2187	26,8293	26,0478	0,7815	78,13437313	78,78718656
11	35	500	Sagu	10%	A	26,3042	1,0007	0,3427	27,3049	26,6469	0,658	65,75397222	
			Sagu		B	32,3672	1,0003	0,2799	33,3675	32,6471	0,7204	72,01839448	68,88618335
12	35	500	Sagu	15%	A	29,3813	1,0001	0,2656	30,3814	29,6469	0,7345	73,44265573	
			Sagu		B	26,8963	1,0002	0,2113	27,8965	27,1076	0,7889	78,87422515	76,15844044

5. Data dan Perhitungan *Fixed Carbon* Biobriket *Fluff* Teh

   Rumus: $Fixed\ Carbon\ (\%) = 100\% - (\%Kadar\ Air + \%Kadar\ Abu + \%Volatile\ Matter)$

   Perhitungan: $Fixed\ Carbon\ (\%) = 100\% - (3{,}45\% + 6{,}32\% + 15{,}53\%)$. Hasil dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Partikel Size (Mesh)	Partikel Size (µm)	Perekat	Konsentrasi (%)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Volatil (%)	Fixed Carbon
1	35	500	Tapioka	5%	5,37	9,61231	74,26162219	10,75606257
			Tapioka			524		
2	35	500	Tapioka	10%	5,72		79,94201999	5,09352631

			Tapioka			9,244453697		
3	35	500	Tapioka Tapioka	15%	6,37	8,79471826	84,22395097	0,611330769
4	35	500	Maizena Maizena	5%	4,82	9,93705036	84,02128659	1,221663051
5	35	500	Maizena Maizena	10%	5,86	9,747202238	75,36977813	9,023019629
6	35	500	Maizena Maizena	15%	6,85	8,823833398	73,32199804	11,00416856
7	35	500	Beras Beras	5%	5,15	8,975084253	62,88491227	22,99000348
8	35	500	Beras Beras	10%	5,57	8,944185303	80,17273919	5,31307551
9	35	500	Beras Beras	15%	5,96	8,566149923	70,58074305	14,89310703
10	35	500	Sagu Sagu	5%	5,37	9,56569596	78,78718656	6,277117477
11	35	500	Sagu Sagu	10%	6	10,21452766	68,88618335	14,89928899
12	35	500	Sagu Sagu	15%	6,34	8,750624688	76,15844044	8,750934868

6. Data dan Perhitungan Densitas Biobriket *Fluff* Teh

Rumus: $\rho\ (\frac{g}{cm^3}) = \frac{m}{v}$

Perhitungan: $\rho\ \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{5{,}2461}{5{,}141}$

Untuk selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Partikel Size (Mesh)	Partikel Size (μm)	Perekat	Konsentrasi (%)	Massa (g)	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	jari-jari (cm)	volume (cm3)	Densitas g/cm3	Rata-Rata
	35	500	Tapioka	5%	3,4396	1,43	2,028	1,014	4,6168057	0,745017	
1	35	500	Tapioka	5%	3,4152	1,431	2,042	1,021	4,6840418	0,729114	0,706865073
	35	500	Tapioka	5%	3,4176	1,539	2,037	1,0185	5,0129149	0,681759	
	35	500	Tapioka	5%	3,4301	1,517	2,071	1,0355	5,107583	0,67157	
	35	500	Tapioka	10%	3,3798	1,333	2,043	1,0215	4,3675365	0,773846	
2	35	500	Tapioka	10%	3,4206	1,377	2,05	1,025	4,5426714	0,752993	0,7557755
	35	500	Tapioka	10%	3,358	1,384	2,064	1,032	4,6283387	0,72553	
	35	500	Tapioka	10%	3,3894	1,388	2,009	1,0045	4,3976331	0,770733	
	35	500	Tapioka	15%	3,3509	1,377	2,055	1,0275	4,5648578	0,734064	
3	35	500	Tapioka	15%	3,3726	1,38	2,025	1,0125	4,4422071	0,759217	0,738944078
	35	500	Tapioka	15%	3,3662	1,456	2,035	1,0175	4,7332545	0,711181	
	35	500	Tapioka	15%	3,4169	1,434	2,01	1,005	4,5479002	0,751314	

	35	500	Maizena	5%	3,4442	1,401	2,012	1,006	4,452088	0,773615	
	35	500	Maizena	5%	3,3939	1,395	2,01	1,005	4,4242125	0,76712	
4	35	500	Maizena	5%	3,4069	1,51	2,043	1,0215	4,9474719	0,688614	0,737379461
	35	500	Maizena	5%	3,4356	1,482	2,025	1,0125	4,7705441	0,720169	
	35	500	Maizena	10%	3,2384	1,335	2,008	1,004	4,2255023	0,766394	
	35	500	Maizena	10%	3,2399	1,35	2,03	1,015	4,3671238	0,741884	
5	35	500	Maizena	10%	3,2286	1,427	2,021	1,0105	4,5753704	0,705648	0,732227112
	35	500	Maizena	10%	3,2438	1,415	2,021	1,0105	4,536895	0,714982	
	35	500	Maizena	15%	3,409	1,332	2,023	1,0115	4,2792302	0,796639	
	35	500	Maizena	15%	3,3769	1,361	2,009	1,0045	4,3120884	0,783124	
6	35	500	Maizena	15%	3,3472	1,385	2,016	1,008	4,4187607	0,757497	0,769354583
	35	500	Maizena	15%	3,3742	1,39	2,044	1,022	4,5587549	0,740158	
	35	500	Beras	5%	3,4067	1,432	2,032	1,016	4,6415185	0,733962	
	35	500	Beras	5%	3,426	1,517	2,028	1,014	4,8976883	0,699514	
7	35	500	Beras	5%	3,3958	1,512	2,048	1,024	4,9783033	0,68212	0,706513287
	35	500	Beras	5%	3,4633	1,501	2,034	1,017	4,8747489	0,710457	
	35	500	Beras	10%	3,4149	1,347	2	1	4,22958	0,807385	
	35	500	Beras	10%	3,408	1,388	2,023	1,0115	4,4591377	0,764273	
8	35	500	Beras	10%	3,4039	1,433	2,029	1,0145	4,631055	0,735016	0,760757506
	35	500	Beras	10%	3,4135	1,419	2,04	1,02	4,6356687	0,736355	

	35	500	Beras	15%	3,3925	1,39	2,042	1,021	4,549838	0,745631	
	35	500	Beras	15%	3,3147	1,373	2,033	1,0165	4,454664	0,744097	
9	35	500	Beras	15%	3,3702	1,404	2,054	1,027	4,6498361	0,7248	0,734786304
	35	500	Beras	15%	3,3799	1,432	2,037	1,0185	4,6643887	0,724618	
	35	500	Sagu	5%	3,487	1,406	2,021	1,0105	4,5080384	0,773507	
	35	500	Sagu	5%	3,4727	1,445	2,021	1,0105	4,6330835	0,749544	
10	35	500	Sagu	5%	3,4452	1,514	2,04	1,02	4,94602	0,69656	0,727427988
	35	500	Sagu	5%	3,4821	1,531	2,049	1,0245	5,0457853	0,690101	
	35	500	Sagu	10%	3,424	1,365	2,017	1,0085	4,3592734	0,785452	
	35	500	Sagu	10%	3,4116	1,366	2,013	1,0065	4,3451813	0,785146	
11	35	500	Sagu	10%	3,4052	1,444	2,035	1,0175	4,6942442	0,725399	0,762052883
	35	500	Sagu	10%	3,4192	1,401	2,033	1,0165	4,5455093	0,752215	
	35	500	Sagu	15%	3,3663	1,408	2,01	1,005	4,4654417	0,753856	
	35	500	Sagu	15%	3,3816	1,373	2,024	1,012	4,4153101	0,765881	
12	35	500	Sagu	15%	3,4152	1,408	2,007	1,0035	4,452122	0,767095	0,762258887
	35	500	Sagu	15%	3,3934	1,401	2,012	1,006	4,452088	0,762204	

7. Data dan Perhitungan Laju Pembakaran Biobriket *Fluff* Teh

Rumus: $Laju\ Pembakaran\ (g/menit) = \frac{Massa\ briket\ terbakar}{Durasi\ Pembakaran}$

Perhitungan: $Laju\ pembakaran\ (\frac{g}{menit}) = \frac{5{,}1638}{2213}$

Hasil dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Partikel Size (Mesh)	Partikel Size (µm)	Perekat	Konsentrasi (%)	massa piring kosong (g)	massa briket (g)	massa Abu (gr)	Massa sisa briket terbakar (gr)	Massa piring abu (g)	waktu nyala (s)	lama pembakaran (s)	laju pembakaran (g/s)
1	35	500	Tapioka	5%	11,6232	3,3458	0,3643	2,9815	11,9875	29	2957	0,001008285
2	35	500	Tapioka	10%	11,6244	3,3645	0,3414	3,0231	11,6244	26	3519	0,000859079
3	35	500	Tapioka	15%	11,6229	3,3885	0,3455	3,043	11,6229	28	3591	0,000847396
4	35	500	Maizena	5%	11,6221	3,3624	0,3692	2,9932	11,9913	28	2896	0,001033564
5	35	500	Maizena	10%	11,6211	3,2061	0,3614	2,8447	11,9825	30	3100	0,000917645
6	35	500	Maizena	15%	11,6211	3,318	0,3231	2,9949	11,9442	30	3465	0,000864329
7	35	500	Beras	5%	11,6212	3,3697	0,3551	3,0146	11,9763	29	3141	0,000959758

8	35	500	Beras	10%	11,6208	3,3727	0,356	3,0167	11,9768	30	3244	0,00092 9932
9	35	500	Beras	15%	11,6201	3,3489	0,3278	3,0211	11,9479	30	3249	0,00092 9855
10	35	500	Sagu	5%	11,6214	3,3969	0,3621	3,0348	11,9835	28	3142	0,00096 5882
11	35	500	Sagu	10%	11,6207	3,3611	0,3494	3,0117	11,9701	30	3296	0,00091 3744
12	35	500	Sagu	15%	11,6205	3,3112	0,3269	2,9843	11,9474	29	3566	0,00083 6876

8. Data dan Perhitungan Kuat Tekan Biobriket *Fluff* Teh

   Rumus: $Kuat\ Tekan\ (N/cm^2) = \frac{Tekanan}{Luas\ Penampang}$

   Perhitungan: $Kuat\ Tekan\ (N/cm^2) = \frac{43,217}{3,51}$

   Hasil dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Partikel Size (Mesh)	Partikel Size (µm)	Perekat	Konsentrasi (%)	Kuat Tekan compression strength (N/mm2)

1	35	500	Tapioka	5%	3,35397
2	35	500	Tapioka	10%	5,53356
3	35	500	Tapioka	15%	8,43348
4	35	500	Maizena	5%	3,51902
5	35	500	Maizena	10%	9,35053
6	35	500	Maizena	15%	9,94836
7	35	500	Beras	5%	2,76947
8	35	500	Beras	10%	5,75545
9	35	500	Beras	15%	7,5484
10	35	500	Sagu	5%	2,60187
11	35	500	Sagu	10%	8,05863
12	35	500	Sagu	15%	9,19757

9. Data Uji Karakteristik Biobriket

Perekat / Karakterisitik	Tapioka			Maizena			Beras			Sagu		
	5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%
Kadar Air	5,37	5,72	6,37	4,82	5,86	6,37	5,15	5,57	5,96	5,37	6	6,34
Kadar Abu	9,61	9,24	8,79	9,93	9,74	8,82	8,97	8,94	8,56	9,56	9,24	8,75
Kadar Zat Terbang	74,26	79,94	84,22	84,02	75,36	73,32	62,88	80,17	70,58	78,78	68,88	76,15
Fixed Carbon	10,75	5,09	0,61	1,22	9,02	11	22,99	5,31	14,89	6,27	14,89	8,75
Nilai Kalor	5871	5802	5711	5885	5878	5733	5874	5766	5789	5761	5780	5649
Uji Kuat Tekan	3,35	5,53	8,43	3,51	9,35	9,94	2,76	5,75	7,54	2,61	8,05	9,19
Densitas	0,68	0,72	0,75	0,68	0,74	0,79	0,68	0,73	0,74	0,69	0,72	0,76
Laju Pembakaran	0,001	0,00085	0,00084	0,001	0,0009	0,00086	0,00096	0,00093	0,00091	0,00096	0,00091	0,00083
Lama Pembakaran	2957	3519	3591	2896	3100	3465	3141	3244	3249	3142	3296	3566

Lampiran 2. Bahan yang digunakan dalam pembuatan Biobriket



Bahan baku *Fluff* teh



Fluff teh setelah diayak



Produk biochar



Biochar*Fluff* teh ukuran 500 μm (35 mesh)



Tepung Tapioka



Tepung Maizena (Maizena)



Tepung Beras Ketan

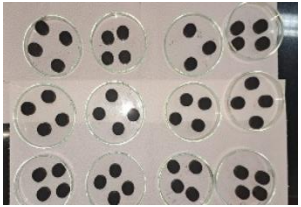


Tepung Sagu

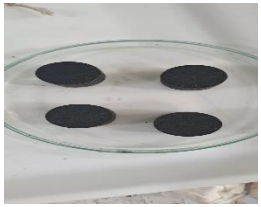
Lampiran 3. Biobriket Fluff Teh Telah Jadi



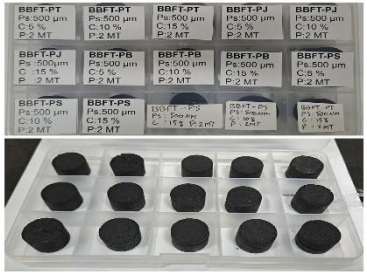
Hasil semua biobriket pencetakan ke-1



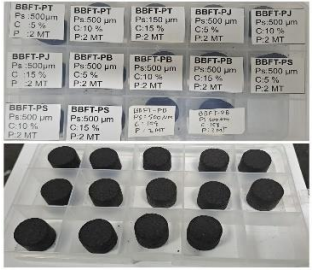
Biobriket yang telah jadi pada pencetakan ke-2



Biobriket setiap 1 kali pencetakan



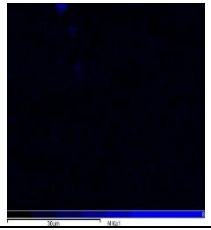
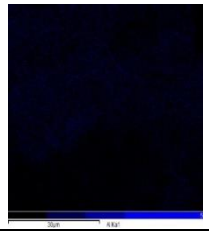
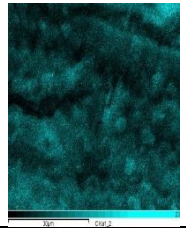
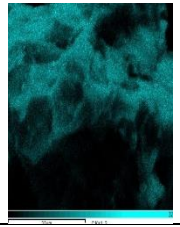
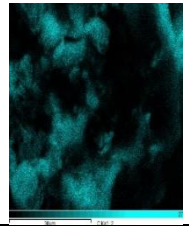
Hasil biobriket setiap sampel

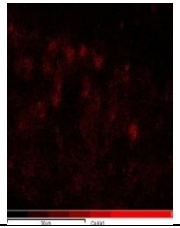
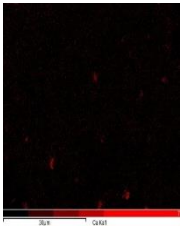
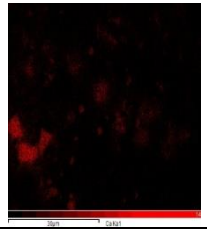
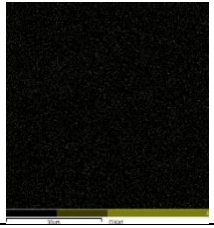
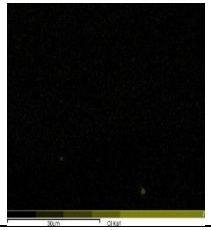
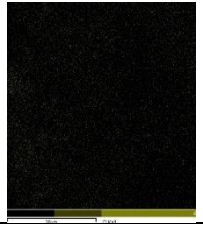
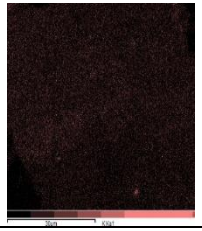


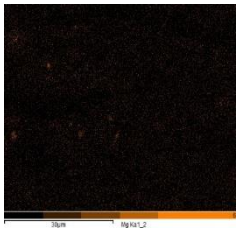
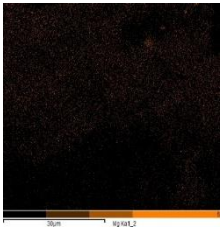
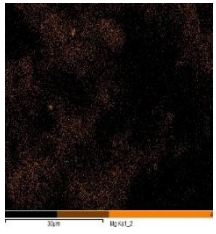
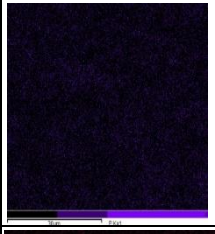
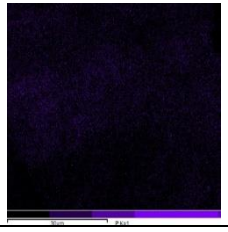
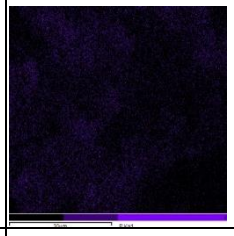
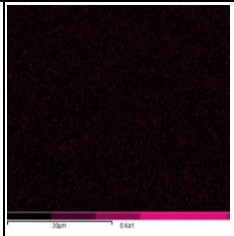
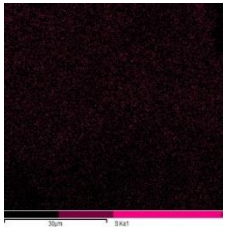
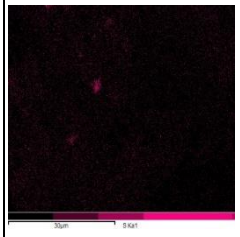
Hasil biobriket setiap sampel

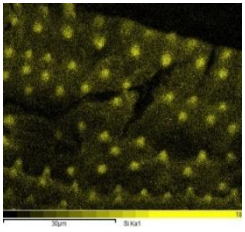
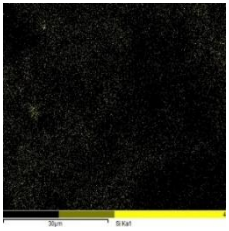
Lampiran 4. Gambar Hasil Karakterisasi

Hasil Uji SEM-EDX

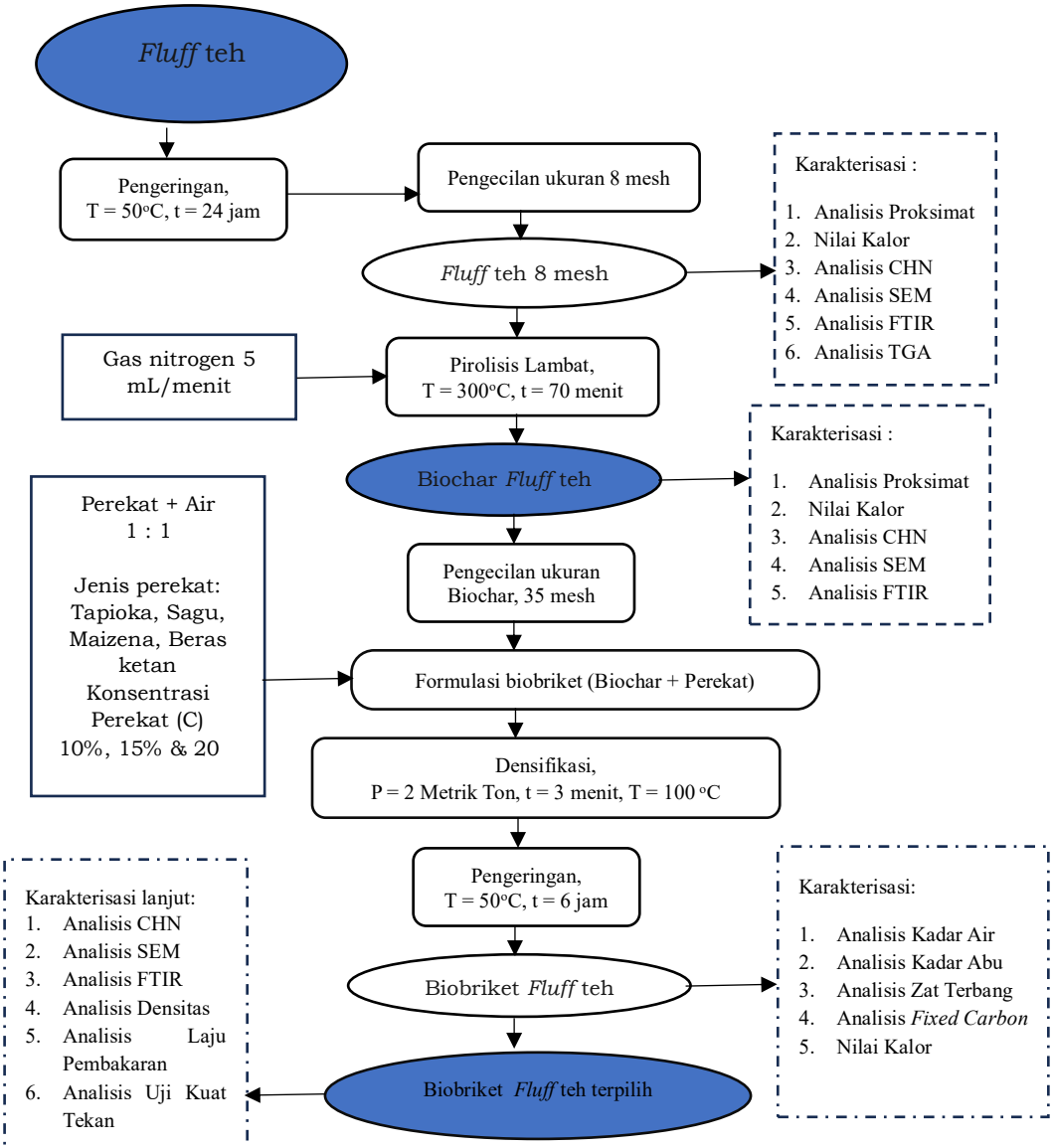
Unsur	Bahan Baku Fluff Teh	Biochar	Biobriket
AI			
C			

Ca			
Cl			
K			

Mg			
P			
S			

Si		-	

Lampiran 5. Tahapan penelitian



Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian



Penataan fluff teh



Pemotongan Fluff teh menggunakan grinder



Pengayakann fluff teh



Proses pirolisis



Pengayakan biochar



Pencetakan biobriket



pengujian densitas



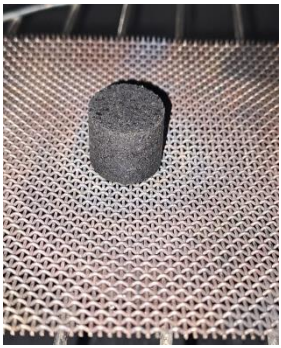
pengujian kadar air



pengujian kadar abu



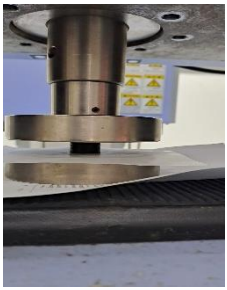
Pengujian kadar zat terbang



Sebelum laju pembakaran



Sesudah laju pembakaran



Pengujian kuat tekan

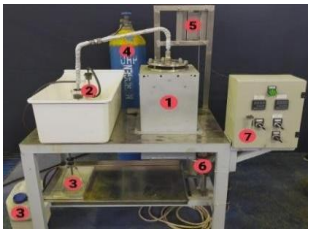


pengaturan uji kuat tekan



Penataan biobriket

Lampiran 6. Alat-alat yang digunakan



Unit pirolisis



Hot Hydraulic Press Carver Laboratory Press



Alat cetakan bentuk



Furnace merk Wise Tehrm



Bomb Calorimeter Parr 6400 Calorimeter

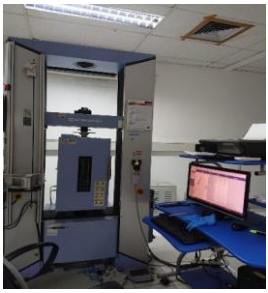


Moisture Analyzer



Furnace merk Nabertehrm

30-3000ºC



Autograph AG-Xplus 50 kN *Shimadzu*



Instrumen CHN 628 merk LECO



Mitutoyo digimatic caliper

RIWAYAT HIDUP

Identitas Diri

Nama Lengkap	: Albin Alfian Daud
Tempat dan Tanggal Lahir	: Banyumas, 20 Desember 2001
Alamat Rumah	: jl. Markisa Raya No.11 Rt 03 Rw 06 Kaligangsa Wetan,Brebes
Nomor HP	: 081325209723
E-mail	: albintimbul@gmail.com

Riwayat Pendidikan:

1. Pendidikan Formal:
   a. SD NEGERI 08 BREBES
   b. SMP NEGERI 1 BREBES
   c. SMAN 2 BREBES

Semarang, 9 September 2025



Albin Alfian Daud

NIM.2108036022