

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Baglog* Jamur

Budidaya jamur pada umumnya menggunakan media yang terbuat dari serbuk gergaji sebagai substrat. Substrat ini kemudian dikemas didalam kantong plastik tahan panas yang biasa disebut "*baglog*". Pertumbuhan jamur tiram pada *baglog* serbuk gergaji yaitu dalam jangka waktu penggunaan antara 40-60 hari seluruh permukaan *baglog* sudah rata ditumbuhi oleh misellium berwarna putih yaitu miselium dari jamur tiram. Pada jangka waktu satu sampai dua minggu setelah *baglog* dibuka biasanya akan tumbuh tunas dalam 2-3 hari akan menjadi badan buah yang sempurna untuk dipanen. Pada waktu panen tiba badan buah telah menunjukkan lebar tudung antara 5-10 cm sebagai ukuran optimal jamur tiram. Produksi jamur biasanya dilakukan dengan memanen badan buah sebanyak 4-5 kali panen dengan rerata 100 g jamur setiap panen. Adapun jarak selang waktu antara masing-masing panen adalah 1-2 minggu (Parlindungan, A.K, 2003).



Gambar 2.1 *Baglog* Jamur

Baglog yang berperan sebagai media tumbuh yang mengandung nutrisi terbatas hanya efektif bila digunakan untuk menumbuhkan jamur tiram sebanyak 6-10 kali dari pemrosesan awal. Pada waktu masa pakainya habis, *baglog* kemudian diambil dan dibongkar. Dalam fase ini *baglog* menjadi limbah budidaya jamur tiram yang apabila tidak ditangani dengan baik dapat menimbulkan pencemaran udara dan tanah. Penanganan limbah *baglog* dapat

dimulai dengan memisahkan antara plastik dan media. Plastik tersebut dapat dimusnahkan dengan dibakar atau didaur ulang sedangkan media yang kebanyakan berupa serbuk kayu (atau jerami) dapat kemudian diproses menjadi pupuk organik (Warisno dan Kres, 2010).

Adapun komposisi dari media tumbuh jamur yaitu sering disebut *baglog* adalah 86,6 % terdiri dari serbuk gergaji, 13% dedak, dan 0,4% mengandung kapur. Pencampuran merata perlu ditambahkan air sebanyak 70% kemudian diayak hingga merata. Komposisi campuran media tanam jamur dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Umum Baglog Jamur

Komposisi	Jumlah (kg)	%
Serbuk gergaji	100	86,6
Dedak	15	13
Kapur	0,5	0,4

Sumber: Chazali dan Pratiwi (2009)

Limbah *baglog* yang tersusun dari serbuk gergaji dan dedak akan terdekomposisi dan menyediakan unsur seperti N, P, dan K yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh tanaman sebagai nutrisi untuk tumbuh. Analisis kandungan unsur N, P, dan K dalam limbah *baglog* tersebut dihasilkan kandungan seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan N, P, dan K Limbah *Baglog* Jamur

Unsur	Kandungan (%)
Nitrogen	0,87
Fosfor	0,05
Kalium	5,7

Sumber: Kusuma (2014)

2.2 Potensi Limbah Budidaya Jamur

Budidaya jamur saat ini mulai banyak dilirik para pelaku usaha/bisnis baik yang berskala kecil maupun yang berskala besar sebagai industri budidaya jamur. Seiring dengan semakin banyaknya pelaku bisnis, secara tidak langsung juga menimbulkan permasalahan baru mengenai limbah budidaya jamur, terutama limbah *baglog* jamur yang sudah habis masa tanamnya.

Menurut Denny Irawati (2017), media tanam limbah budidaya jamur dapat didefinisikan sebagai media yang tersisa setelah badan buah jamur dipanen selama periode budi daya jamur. Media tersebut akan berkurang nutrisinya setelah kurang lebih 4-6 bulan masa pemeliharaan. Media yang sudah tidak produktif akan menjadi limbah harus diganti dengan media yang baru. Pemanfaatan limbah *baglog* jamur:

1. Pemanfaatan kembali sebagai media *baglog*

Media tanam jamur (*baglog*) yang sudah habis masa tanamnya dapat dipakai kembali untuk pembuatan *baglog* baru. Tetapi kekurangannya adalah hasil produksi jamur dari *baglog* tersebut nantinya akan sedikit berkurang dari yang seharusnya (hanya mencapai sekitar 80%) dibanding bila menggunakan serbuk gergaji baru. Sedangkan kelebihan dari pemanfaatan ini adalah dapat mengurangi pembelian serbuk gergaji sehingga dapat menghemat proses produksi.

2. Dapat dibuat menjadi pupuk kompos

Limbah *baglog* jamur dapat dijadikan pupuk kompos dengan cara menambahkan EM4 dan bahan organik lain, maka sudah dapat dimanfaatkan sebagai pupuk untuk tanaman. Kekurangannya yaitu hingga saat ini belum diketahui dosis penggunaan pupuk yang tepat untuk peningkatan pertumbuhan dan hasil tanaman.

3. Digunakan untuk pakan ternak

Limbah *baglog* jamur mengandung berbagai macam nutrisi dan serat yang dibutuhkan oleh sapi perah, beberapa penelitian telah menunjukkan nilai nutrisi yang sangat tinggi untuk hewan ternak, dan dengan pengolahan lebih lanjut untuk meningkatkan selera makan bagi sapi, pakan dari limbah log jamur merupakan solusi bagi masalah peternakan. Limbah *baglog* dibuat pakan ternak dengan cara mencampurkannya bersama tetes tebu dan bakteri pre-biotik yang berperan positif bagi ternak sapi.

4. Digunakan sebagai bahan bakar

Limbah *baglog* jamur dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar dengan melalui proses penjemuran untuk menghilangkan kadar air dan setelah kering langsung bisa digunakan.

2.3 Perekat (*Binder*)

Berikut beberapa jenis *binder* yang dapat digunakan sebagai perekat bahan bakar padat, yaitu:

1. Tepung kanji (kanji)

Tepung kanji umumnya digunakan sebagai bahan perekat briket karena banyak terdapat dipasaran, harganya relatif murah, dan cara membuatnya mudah yaitu cukup mencampurkan tepung kanji dengan air lalu dididihkan. Selama proses pemanasan, tepung diaduk terus agar tidak menggumpal. Setelah beberapa menit dipanaskan warna tepung yang putih akan berubah menjadi transparan dan terasa lengket di tangan. Dalam penggunaannya perekat kanji menimbulkan asap yang relatif sedikit dibandingkan bahan perekat lainnya. Penggunaan perekat kanji akan menghasilkan briket yang nilainya rendah dalam hal kerapatan, keteguhan tekan, kadar abu dan *volatile matter* tetapi akan lebih tinggi dalam hal kadar air, kadar karbon, dan nilai kalor. Namun perekat ini juga memiliki kekurangan yaitu ketahanan terhadap air rendah, mudah diserang jamur, bakteri dan binatang pemakan pati (Lubis, 2011). Adapun komposisi kimia tepung kanji disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Tepung Kanji

Komponen	Jumlah
Serat (%)	0,5
Protein (%)	0,5-0,7
Lemak (%)	0,2
Karbohidrat (%)	85
Energi (kal/1 00 g)	307
Kalsium (mG)	20
Fosfor (mG)	7
Besi (mG)	1,58
Air (%)	15

Sumber: Amin (2013)

2. Tar batubara

Tar merupakan cairan kental berwarna hitam pekat hasil karbonisasi dan gasifikasi batubara. Tar dapat juga diperoleh dari distilasi minyak bumi atau tumbuhan seperti batang pohon pinus (*pine tar oil*). Tar merupakan cairan dan terdiri atas campuran yang sangat kompleks dari senyawa- senyawa hidrokarbon, yaitu senyawa yang mengandung hidrogen dan karbon dan memiliki berat jenis yang lebih besar dari air.

Kompleksitas senyawanya merupakan kendala yang dihadapi dalam pengolahan tar, sehingga perlu dilakukan proses pemisahan awal agar memudahkan dalam pemanfaatan lebih lanjut.

3. Tetes tebu (molase)

Tetes tebu adalah hasil produk samping pada proses pembuatan gula tebu. Tetes tebu merupakan cairan kental yang diperoleh dari tahap pemisahan kristal gula. Tetes tebu tidak dapat dibentuk lagi menjadi sukrosa, tetapi masih mengandung gula dengan kadar tinggi (50-60%), asam amino, dan mineral. Tingginya kandungan gula pada tetes tebu berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan perekat pada biobriket (Irawan dkk., 2012).

4. Tanah liat

Tanah liat dapat digunakan sebagai perekat karbon dengan cara tanah liat diayak halus seperti tepung, lalu diberi air sampai lengket. Namun penampilan briket arang dari segi warna yang menggunakan bahan perekat ini menjadi kurang menarik dan membutuhkan waktu lama untuk mengeringkannya. Selain itu kekurangan penggunaan tar ini briket menjadi agak sulit menyala ketika dibakar.

5. Getah karet

Getah karet memiliki daya lekat yang lebih kuat dibandingkan dengan kanji maupun tanah liat. Namun, pada ongkos produksinya relatif lebih mahal dan agak sulit mendapatkannya karena harus membeli. Penggunaan perekat getah karet pada briket arang akan menghasilkan asap tebal berwarna hitam dan beraroma kurang sedap ketika dibakar. Oleh karena itu getah karet ini jarang dipilih oleh produsen briket.

6. Getah pinus

Perekat getah pinus hampir mirip dengan perekat getah karet. Namun keunggulannya terletak pada daya benturan (kekokohan) briket yang kuat meskipun dijatuhkan dari tempat yang tinggi tetapi briket tetap utuh.

7. Perekat pabrik

Perekat pabrik adalah sejenis lem khusus yang diproduksi oleh pabrik yang berhubungan langsung dengan industri pengolahan kayu, seperti tripleks, multipleks, dan furnitur. Lem-lem tersebut memang mempunyai daya lekat yang sangat kuat tetapi harganya yang relatif lebih tinggi, sehingga kurang ekonomis jika diterapkan pada briket, kecuali untuk melayani pesanan khusus dari konsumen (Manalu, 2010).

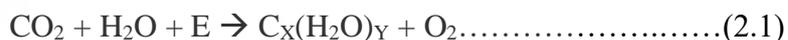
2.4 Biomassa

Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis baik berupa produk maupun buangan, yang kemudian bahan-bahan organik ini dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar. Pada proses fotosintesis tersebut, tumbuhan menyimpan energi matahari yang dimanfaatkan sebagai energi.



Gambar 2.2 Contoh-Contoh Biomassa

Proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan adalah:



Dimana: E = Energi Cahaya

CO_2 = karbondioksida

H_2O = air

$\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$ = hidrokarbon

O_2 = Oksigen

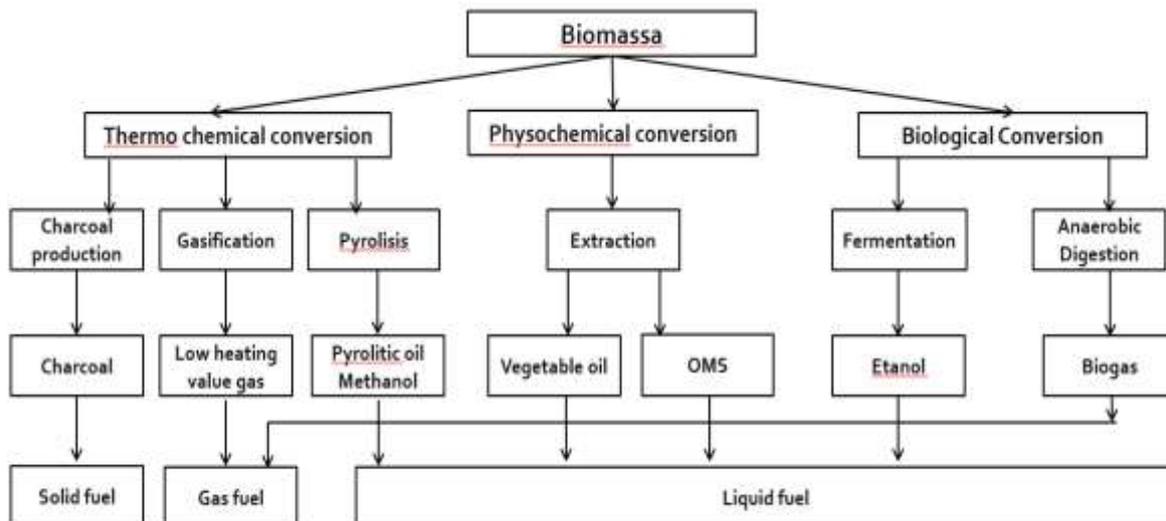
Proses fotosintesis tersebut dapat terjadi pada klorofil. Klorofil ialah bahan penyusun zat hijau daun. Hidrokarbon dapat berbentuk gula tebu atau gula bit yang mempunyai rumus $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ atau berbentuk selulosa yang mempunyai rumus $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_x$. Kandungan hidrokarbon pada hasil proses fotosintesis inilah yang kemudian dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Menurut Pabir Basu (2013), biomassa termasuk material organik yang berasal dari makhluk hidup, baik dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Setelah suatu organisme mati, mikroorganisme menguraikan biomassa menjadi unsur penyusun dasar seperti H_2O , CO_2 , dan energi potensi lainnya. Sebagai sumber energi terbarukan, biomassa terus terbentuk oleh interaksi antara CO_2 , udara, air, tanah, dan sinar matahari dengan tanaman dan hewan. Material organik yang selama jutaan tahun telah dikonversi menjadi bahan bakar fosil seperti batubara atau minyak bumi bukan termasuk kedalam biomassa. Material biomassa memiliki kandungan energi dalam bentuk ikatan kimia antara molekul karbon, hidrogen, dan oksigen. Ketika terjadi dekomposisi ikatan kimia tersebut, maka akan menghasilkan energi kimia dalam fasa gas, cair dan padat sesuai dengan perlakuan yang diberikan.

Produk gas alternatif yang dapat dihasilkan dari biomassa yaitu CH_4 , CO_2 , CO , dan H_2 , sedangkan untuk produk bio-fuel berupa ethanol, methanol, bio-diesel, *vegetable oil*, dan *pyrolysis oil*. Sedangkan untuk produk yang dihasilkan dalam bentuk padatan yaitu torefaksi biomassa dan charcoal. Struktur utama dari penyusun biomassa adalah material lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Lignoselulosa adalah material berserat yang membentuk dinding sel tumbuh-tumbuhan. Selain itu, komponen seperti protein, asam lemak ester, dan material organik lainnya (terdiri dari N, P dan K) terdapat dalam biomassa tetapi dalam jumlah yang sedikit (Amrul, 2014).

2.4.1 Pemanfaatan Biomassa

Sebelum manusia mengenal bahan bakar fosil, penggunaan biomassa sebagai sumber energi telah terlebih dahulu diketahui dan digunakan. Contohnya adalah penggunaan kayu dan ranting sebagai bahan bakar. Pemanfaatan tersebut dikenal dengan pemanfaatan biomassa secara langsung. Namun, setelah ditemukannya bahan bakar fosil, penggunaan biomassa menjadi sangat terbatas pemanfaatannya dikarenakan energi yang dihasilkan lebih kecil. Setelah cadangan bahan bakar fosil yang semakin lama semakin menipis, pemanfaatan akan biomassa menjadi aktif kembali dan semakin luas. Dalam pengelolaannya, biomassa dapat dimanfaatkan dengan melalui *thermo chemical conversion*, *physicochemical conversion* dan *biological conversion* seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema Pengolahan Biomassa

Sumber: Anggiat Jupar (2013)

2.4.2 Keunggulan dan Kekurangan Biomassa

Keunggulan maupun kekurangan yang dimiliki biomassa adalah sebagai berikut:

1. Keunggulan

Adapun keunggulan yang terdapat dalam pemanfaatan biomassa adalah:

- a) Dapat mengurangi adanya efek gas rumah kaca.

Penggunaan biomassa akan membuat permasalahan sampah organik yang menghasilkan gas metana yang menyebabkan terbentuknya gas rumah kaca dapat diminimalisir. Contohnya dari sampah organik tersebut adalah kotoran hewan, dedaunan, tongkol jagung, dan sekam padi. Penggunaan biomassa pula akan mengurangi penggunaan energi fosil yang menyumbang gas-gas rumah kaca terbesar saat ini.

- b) Melindungi kebersihan air dan tanah.

Pemanfaatan biomassa akan mengurangi sampah yang berbahaya bagi lingkungan. Sampah yang tertimbun tersebut akan mengeluarkan cairan berbahaya dan diserap oleh tanah sehingga mencemari air tanah, sedangkan

air tanah ini digunakan oleh masyarakat untuk konsumsi dan kebutuhan lainnya. Sehingga dengan memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar, pencemaran air dan tanah dapat diminimalisir.

c) Mengurangi sampah organik.

Sama halnya seperti melindungi kebersihan air dan tanah, pemanfaatan biomassa akan mengurangi sampah organik, karena sampah tersebut diubah ke bentuk lain dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar.

d) Meningkatkan pemanfaatan lahan.

Penggunaan biomassa ini akan membuat lahan yang ditempati sampah menjadi kosong, sehingga lahan kosong dapat dimanfaatkan untuk menanam tumbuhan penghasil biodiesel seperti kelapa sawit dan jarak pagar.

2. Kekurangan

Sedangkan, kekurangan yang dimiliki oleh biomassa dalam kaitannya sebagai sumber energi adalah:

a) Kandungan kelembaban yang tinggi.

Dalam kandungan biomassa pula, terdapat kandungan air yang cukup tinggi. Hal ini dapat dilihat dari reaksi yang dihasilkan pada proses fotosintesis, dimana pada hasil reaksinya terdapat air (H_2O).

b) Nilai kalor yang dikandung biomassa relatif cukup rendah, karena kandungan C pada biomassa belum terputus, masih berupa rantai panjang dalam senyawa hemiselulosa, selulosa maupun lignin.

c) Mempunyai densitas yang cukup rendah.

Biomassa umumnya mempunyai densitas yang cukup rendah. Sehingga untuk menghasilkan energi yang setara dengan bahan bakar fosil, contohnya batubara, dibutuhkan jumlah biomassa yang banyak. Selain itu, pendistribusian yang sulit karena terdapat hambatan dalam masalah

pengemasan. Contohnya adalah biomassa yang berasal dari sekam padi dan sulit dikemas dalam bentuk briket dibandingkan dengan batu bara.

d) Pembersihan atau penguraian.

Dikarenakan biomassa juga berasal dari limbah, sulit untuk menguraikan bahan-bahan penyusun biomassa yang dibutuhkan sebagai sumber energi dengan bahan-bahan yang memang tidak diperlukan.

2.5 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu materi yang ketika dipanaskan pada temperatur tertentu akan mengalami reaksi kimia dengan oksigen yang terkandung di dalam udara membentuk api dan dapat melepaskan panas atau energi. Apabila dibakar, bahan bakar yang baik dapat meneruskan proses pembakaran dengan sendirinya yang disertai dengan keluarnya karbon (Ndraha, 2009). Berdasarkan formasi dan proses pembentukannya bahan bakar dapat digolongkan menjadi beberapa macam, antara lain (Yudanto,2012):

1. Berdasarkan materi pembentuknya, bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu:
 - a) Bahan bakar berbasis bahan organik, yang terdiri dari:
 - Bahan bakar fosil misalnya batubara, minyak bumi, dan gas bumi.
 - Bahan bakar terbarukan (biofuel) misalnya biomassa, biogas, biodisel, bioetanol yang berbasis pada minyak nabati dan hewani.
 - b) Bahan bakar nuklir misalnya uranium dan plutonium.
2. Berdasarkan proses pembentukannya, bahan bakar dibagi menjadi 2 yaitu:
 - Bahan bakar alamiah, merupakan bahan bakar yang ditemukan langsung dari alam. Contohnya batubara antrasit, batubara bitumen, gas alam, petroleum, kayu, sisa tumbuhan dan lain-lain.
 - Bahan bakar non-alamiah, merupakan bahan bakar bersifat buatan (diolah dengan teknologi maju). Contohnya kokas, semi-kokas, bensin, minyak tanah, dan solar.
3. Berdasarkan wujudnya, bahan bakar dibagi menjadi tiga yaitu:

- Bahan bakar padat, merupakan bahan bakar yang memiliki struktur yang sangat rapat dan keras contohnya batubara, arang, dan briket.
- Bahan bakar cair, merupakan bahan bakar yang berbentuk cair dan memiliki struktur tidak rapat serta molekulnya dapat bergerak bebas contohnya bensin, solar, dan minyak tanah.
- Bahan bakar gas, merupakan bahan bakar yang struktur molekulnya berjauhan satu sama lain dan dapat bergerak bebas contohnya LPG (*Liquid Petroleum Gas*).

2.6 Bahan Bakar Padat

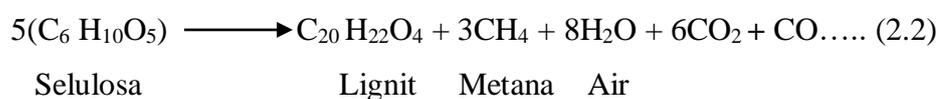
Bahan bakar padat termasuk kedalam bahan bakar yang bersifat keras dan strukturnya sangat rapat. Bahan bakar padat telah digunakan sejak dahulu sebagai sumber energi dari hasil proses pembakaran material yang menghasilkan panas. Bahan bakar padat merupakan bahan bakar yang paling efisien, serta dimungkinkan untuk dikembangkan secara masal dalam jangka waktu yang relatif singkat, dikarenakan teknologi dan peralatan yang digunakan relatif sederhana (Nugraha, 2013).

Bahan bakar padat contohnya antara lain:

a) Batubara

Batubara merupakan bahan bakar fosil yang dapat terbakar dan terbentuk dari endapan batuan organik yang mengandung karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur. Batubara berasal dari sisa tumbuhan mati berjuta tahun lalu dengan komposisi utama *cellulosa* yang terbentuk melalui proses *coalification* (pembentukan batubara) yang dibantu oleh faktor kimia, fisika dan alam yang akan mengubah *cellulosa* menjadi *lignite*, *bituminous*, *subbituminous* dan *anthracite* (AS, 2009)

Reaksi pembentukan batubara jenis lignit sebagai berikut:



b) Arang

Arang adalah padatan dengan pori hasil proses pembakaran bahan yang mengandung karbon tanpa oksigen sehingga bahan hanya mengalami karbonisasi dan tidak teroksidasi. Pori pada arang sebagian besar masih tertutup oleh hidrogen, tar, dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari air, abu, nitrogen, dan sulfur (Wijayanti, 2009). Peningkatan mutu arang dapat dilakukan dengan cara aktivasi menjadi arang aktif. Arang aktif dapat diperoleh dari proses pembesaran luas permukaan arang pada temperatur tinggi dalam selang waktu tertentu sehingga akan mengalami perubahan sifat fisika dan kimia pada arang.

c) Briket

Briket adalah hasil proses pengempaan bahan dengan ukuran partikel kecil yang berasal dari limbah organik, limbah pabrik, maupun limbah rumah tangga kedalam suatu cetakan. Briket dikategorikan sebagai bahan bakar padat alternatif atau pengganti bahan bakar minyak yang paling efisien dan dimungkinkan untuk dikembangkan secara masal dalam waktu yang relatif singkat dikarenakan teknologi dan peralatan yang digunakan relatif sederhana (Widarti, 2010).

2.7 Teknologi Pembriketan

Pembriketan adalah salah satu teknologi pemadatan dimana suatu bahan/material dikenai tekanan tertentu untuk membentuk produk yang mempunyai *density* lebih tinggi, sehingga kandungan air lebih rendah, serta ukuran yang seragam dan sifat-sifat bahannya (Mutaqin, 2005). Adapula tujuan dari pembriketan adalah untuk meningkatkan kualitas bahan bakar, mempermudah penanganan, dan dalam segi transportasi, serta mengurangi kehilangan bahan dalam bentuk abu pada proses pengangkutan. Menurut Anggiat Jupar (2013), secara umum teknologi pembriketan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

a) Pembriketan dengan tekanan tinggi

Teknologi pembriketan ini adalah dengan memadatkan bahan biomassa dengan tekanan tinggi pada tekanan tertentu. Pada proses pembuatannya umumnya menggunakan teknologi *screw press* atau *piston press*.

b) Pembriketan bertekanan sedang dengan bantuan alat pemanas

Teknologi pembriketan dengan cara ini adalah dengan memadatkan bahan biomassa dengan tekanan sedang. Akan tetapi, pada proses pematatannya bahan biomassa tersebut dipanasi dengan alat pemanas yang berfungsi seperti lem yang akan membantu proses pengikatan partikel-partikel bahan biomassa.

c) Pembriketan bertekanan rendah dengan bahan pengikat

Teknologi pembriketan ini adalah dengan menggunakan tekanan yang rendah. Untuk membentuk ikatan antar partikel-partikel biomassa digunakan bahan pengikat.

Penyempurnaan pada pembriketan dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan atau tanpa pengikat (*binder*). Proses pengikatan dibutuhkan untuk membuat bahan yang akan dibriketkan menjadi homogen selama proses penekanan. Tanpa pengikat, briket akan remuk menjadi potongan-potongan atau serpihan saat diangkat dari cetakan. Namun, pada prosesnya terdapat bahan yang tidak memerlukan *binder* atau perekat yaitu bahan yang pada temperatur dan tekanan tinggi dapat bersifat sebagai perekat atau pengikatnya sendiri (Mutaqin, 2005). Dengan pemakaian bahan pengikat maka tekanan yang dibutuhkan akan jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan briket tanpa memakai bahan pengikat. Bahan pengikat digunakan untuk menarik air dan membentuk tekstur yang padat atau mengikat dua substrat yang akan direkatkan. Adapula bahan pengikat dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu (Royhan, 2003):

a) Pengikat anorganik

Perekat anorganik, contoh perekat jenis ini adalah sodium silikat, magnesium, dan *cement*. Kekurangan dari penggunaan bahan perekat ini adalah sifatnya yang banyak meninggalkan abu sekam pada waktu pembakaran.

b) Bahan pengikat tumbuh-tumbuhan

Penggunaan bahan perekat yang dibutuhkan untuk jenis ini jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan bahan perekat *hydrocarbon*. Kekurangan yang dapat

ditimbulkan adalah arang cetak (briket) yang dihasilkan kurang tahan terhadap kelembaban.

c) *Hydrocarbon* dengan berat molekul besar

Bahan perekat ini dapat sering dijumpai untuk dipergunakan sebagai bahan perekat pembuatan arang cetak ataupun batubara cetak.

Kualitas produk briket ditinjau dari berbagai macam sifat berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan (BPPK) ditampilkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Standar Nilai Briket Menurut SNI dan Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan (BPPK)

No	Sifat Arang	Standar	
		SNI	BPPK
1	Kadar air	Maks 8 %	7,57%
2	<i>Volatile matter</i>	Minimal 15 %	16,14%
3	Kadar abu	Maks 8 %	5,51%
4	Karbon tetap	64-67 %	78,35%
5	Densitas	-	0,4407%
6	Tekanan	60 kg/cm ²	-
7	Nilai kalor	Min 5000 kalori/gram	6814,11 kalori/gram

Sumber: SNI dan BPPK

Standar mutu briket berbeda di setiap negaranya, hal tersebut disesuaikan dengan aturan yang berlaku dinegara itu. Adapula standar briket di beberapa negara di dunia tertera pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Standar Nilai Briket arang Dunia

No	Sifat-sifat	Standar mutu briket				
		Komersial	Impor	Jepang	Inggris	USA
1	Kadar air (%)	7-8	6-8	6-8	3-4	6
2	Kadar abu (%)	5,26	5-6	5-7	8-10	16
3	Kadar Zat terbang (%)	15,24	15-28	15-30	16,4	19-28
4	Karbon tetap (%)	77,36	65-75	60-80	75	60
5	Kerapatan (gr/cm ³)	0,4	0,53	1,0-1,2	0,46-0,84	1,0-1,2
6	Kekuatan tekan (kg/cm ²)	50	46	60	12,7	62
7	Nilai kalor (kalori/gram)	6000	4700-5000	5000-6000	5870	4000-6500

Sumber: Erikson Sinurat (2011)

Pengujian terhadap kualitas briket yang dihasilkan dapat dilakukan dengan analisis berikut:

1. Kadar air

Kadar air yang dikandung dalam briket dapat dinyatakan dalam dua macam:

a) *Free moisture* (uap air bebas)

Free moisture dapat dihilangkan dengan penguapan, misalnya dengan *air drying*. Kandungan *free moisture* sangat penting dalam perencanaan *handling* dan *preparation equipment*.

b) *Inherent moisture* (uap air terikat)

Kandungan *inherent moisture* dapat ditentukan dengan memanaskan briket antara temperatur 104-110°C selama satu jam.

2. Kandungan abu (*ash*)

Semua briket mempunyai kandungan zat anorganik yang dapat ditentukan jumlahnya sebagai berat yang tinggal apabila briket dibakar secara sempurna. Zat tinggal ini disebut abu. Abu briket berasal dari *clay*, pasir, dan bermacam-macam zat mineral lainnya. Briket dengan kandungan abu yang tinggi sangat tidak menguntungkan karena akan membentuk kerak.

3. Kandungan *volatile matter*

Volatile matter tersusun dari gas-gas yang mudah terbakar seperti karbon monoksida (CO), hidrogen dan metana (CH₄). Tetapi terkadang terdapat gas-gas yang tidak terbakar seperti karbon dioksida (CO₂) dan H₂O. *Volatile matter* adalah bagian dari briket yang terbentuk bila briket tersebut dipanaskan pada kondisi tanpa udara pada temperatur tertentu. Untuk kadar *volatile matter* ±40%, pada saat pembakaran akan diperoleh nyala yang panjang dan akan menimbulkan asap yang banyak. Sedangkan untuk kadar *volatile matter* yang rendah antara 15-25% lebih diminati dikarenakan pada saat pembakaran asap yang dihasilkan sedikit (Jupar, 2013).

4. Karbon tetap (*fixed carbon*)

Fixed carbon merupakan karbon dalam keadaan bebas yang tidak terikat dengan elemen lain. Kandungan *fixed carbon* dapat memberikan gambaran kasar atas nilai kalor yang terkandung dalam material tersebut. *Fixed carbon* tidak dapat diketahui melalui pengujian secara laboratorium, melainkan didapatkan dari hasil perhitungan

jenis analisis proksimat lainnya yaitu dengan pengurangan dari kadar abu, kadar air dan kadar zat terbang (Simorangkir,2014).

5. Nilai kalor

Nilai kalor ialah jumlah panas yang dapat dipindahkan ketika produk dari pembakaran bahan bakar didinginkan hingga mencapai temperatur awal dari bahan bakarnya atau udara pembakarnya. Nilai ini dapat pula menunjukkan jumlah energi kimia suatu massa atau volume bahan bakar. Nilai kalor terbagi menjadi 2 yaitu:

- a. Nilai kalor tinggi atau *Higher Heating Value* (HHV). Pada penentuan nilai HHV, produk yang dihasilkan berupa gas CO₂ dan H₂O yang masih berupa fasa uap.



- b. Nilai kalor rendah atau *Lower Heating Value* (LHV). Pada penentuan nilai LHV, produk yang dihasilkan berupa gas CO₂ dan H₂O yang masih berupa fasa gas.



Alat yang digunakan untuk menentukan nilai kalor ialah kalorimeter bom. Penentuan nilai kalor ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kalor optimum yang terkandung dalam briket. Nilai kalor termasuk salah satu indikator utama dari berbagai jenis bahan bakar komersial (Sari dan Paramita, 2007)

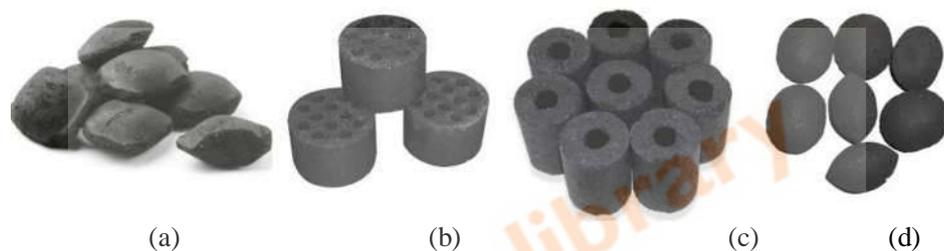


Gambar 2.4 Kalorimeter Bom

2.8 Pencetakan Briket

Pencetakan pada briket bertujuan untuk memperoleh bentuk yang seragam serta memudahkan dalam pengemasan serta penggunaannya. Pencetakan briket akan memperbaiki dari segi penampilan serta menambah nilai ekonomis. Terdapat berbagai macam alat perekat yang dapat dipilih tergantung tujuan penggunaannya yang menghendaki kekerasan atau kekuatan pengempaan tertentu. Berbagai macam bentuk briket dapat dijumpai, dimana spesifikasinya sesuai dengan jumlah industri atau usaha yang ada dan tergantung dari penggunaannya (Lubis, 2011).

Berikut beberapa bentuk briket:



Gambar 2.5 Bentuk-bentuk briket (a) bantalan (*oval*), (b) sarang tawon (*honey comb*), (c) silinder (*cylinder*), dan (d) telur (*egg*)

2.9 Proses Pengolahan Biomassa

2.9.1 Proses Karbonisasi

Karbonisasi ialah metode atau teknologi dengan cara memanaskan biomassa pada temperatur relatif tinggi dengan jumlah udara atau oksigen dibatasi sehingga hanya cukup untuk pembakaran (Sari dan Paramita, 2007). Perubahan alamiah dari suatu batubara, briket, arang menjadi faktor pertimbangan yang penting dalam proses karbonisasi. Hal tersebut berhubungan dengan hasil produk samping cairan dan gas yang akan dihasilkan. Berdasarkan akan pertimbangan tersebut, proses karbonisasi pada briket batubara dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu (Mutaqin, 2005):

1. Karbonisasi dengan temperatur rendah, temperatur berkisar antara 500-750°C
2. Karbonisasi dengan temperatur menengah, temperatur berkisar antara 750- 900°C
3. Karbonisasi dengan temperatur tinggi, temperatur berkisar antara 900-1175°C

2.9.2 Proses Pirolisis

Pirolisis ialah proses dekomposisi termal dari biomassa yang menggunakan panas biasanya pada temperatur 300-650°C, tanpa adanya oksigen. Menurut Andre Bezanson (2009) ada tiga jenis proses pirolisis, diantaranya:

1. *Slow Pyrolysis*

Proses *slow pyrolysis* dari material biomassa akan menghasilkan produk *solid char* yang digunakan sebagai *solid fuel/slurry fuel*. Temperatur pada proses 400°C lebih sepanjang waktu untuk memaksimalkan pembentukan arang.

2. *Rapid/Fast Pyrolysis*

Proses ini pada umumnya menghasilkan produk yang berupa cairan dan dapat digunakan sebagai *bio-oil/gas*. Material biomassa dipanaskan pada rentang temperatur 650-1000°C bergantung pada *bio-oil/gas* yang akan diproduksi.

3. *Pyrolysis in a Medium*

Pada proses ini biasanya menggunakan *hydrogen* atau air.

- a. *Hydrogen* digunakan karena molekul *hydrogen* berikatan dengan hidrokarbon kemudian dapat meningkatkan *volatile* (gas) produk hidrokarbon.
- b. Air digunakan untuk memecahkan biomassa menjadi *bio-oil* dengan kadar oksigen yang sedikit.

2.9.3 Proses Torefaksi

Torefaksi adalah suatu teknologi yang dapat meningkatkan sifat-sifat biomassa (Van der Selt dkk,2011). Reaksi yang terjadi pada proses *torefaksi* yaitu:



Berikut perbedaan antara proses torefaksi, pirolisis dan karbonisasi:

Tabel 2.6 Perbedaan proses torefaksi, pirolisis dan karbonisasi

Keterangan	Torefaksi	Pirolisis	Karbonisasi
Temperatur operasi (°C)	200-300	300-650	500-1200
Kebutuhan oksigen	Tidak	Tidak	Sedikit
Tekanan operasi (MPa)	0,1	0,1-0,5	> 0,1
Produk yang dihasilkan	Padat	Cair	Padat

Seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.6, perbedaan paling penting antara pirolisis, karbonisasi dan *torefaksi* terletak pada permintaan produk. Misalnya permintaan utama dari pirolisis adalah untuk memaksimalkan produk cair dan meminimalkan hasil arang. Permintaan produk karbonisasi adalah untuk memaksimalkan karbon dan meminimalkan kandungan hidrokarbon dari produk padat, sedangkan pada *torefaksi* untuk memaksimalkan energi dan hasil produk dengan pengurangan rasio oksigen menjadi karbon (O/C) dan hidrogen menjadi karbon (H/C).

2.10 Torefaksi (*Torrefaction*)

Torefaksi adalah suatu proses perlakuan panas pada biomassa dengan rentang temperatur antara 200-300°C dan tekanan atmosfer tanpa kehadiran oksigen serta laju pemanasan partikel yang rendah (<50 °C/min). Penggunaan metode ini diharapkan akan memperbaiki karakteristik bahan bakar seperti peningkatan nilai kalor, menurunkan kadar air, *grindability*, dan memperbaiki sifat higroskopik. Penelitian awal mengenai torefaksi dimulai pada tahun 1930-an, akan tetapi publikasi dari hasil penelitian tersebut terbatas. Nama lain dari proses torefaksi adalah *roasting*, *wood cooking*, *slow-mild pyrolysis*, dan *high temperature drying*. Torefaksi dapat digunakan sebagai langkah pengkondisian awal untuk metode konversi biomassa seperti gasifikasi dan *co-firing*. Perlakuan panas tidak hanya mengubah struktur serat, tetapi juga dapat mengubah keuletan dari biomassa. Selama proses torefaksi, biomassa akan mengalami devolatisasi serta menyebabkan penurunan berat, tetapi kandungan energi awal dari biomassa yang telah ditorefaksi tersebut tetap terjaga dalam produk padatan sehingga densitas energi dari biomassa menjadi lebih tinggi dibanding biomassa awal. Proses torefaksi dapat terbagi menjadi beberapa langkah, seperti pemanasan, pengeringan, torefaksi, dan pendinginan seperti yang telah dijelaskan oleh Patrick Bergman dan Jacob Kiel (2005). Penjelasan dari tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pemanasan awal.

Pada proses awal, biomassa dipanasi sampai tahapan pengeringan tercapai. Pada tahapan ini terjadi peningkatan temperatur dari biomassa dan pada akhir dari tahap ini uap air dari biomassa mulai mengalami penguapan.

2. Pengeringan.

Tahapan pengeringan ini dibagi menjadi dua kondisi, yaitu:

a) Pengeringan awal atau *pre-drying*.

Tahap ini tercapai pada saat suhu biomassa mendekati 100°C , air yang dikandung oleh biomassa akan mulai menguap pada temperatur konstan.

b) Pengeringan akhir atau *post-drying*.

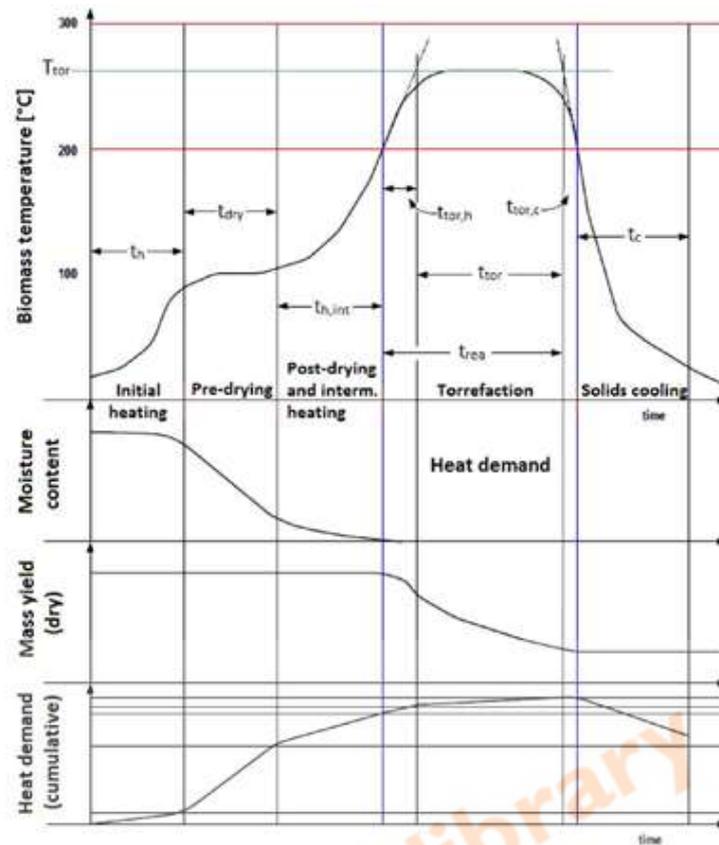
Pada saat suhu biomassa mendekati 200°C , kandungan air akan terlepas akibat perpindahan kalor pada partikel biomassa. Selama tahap ini pula terdapat sebagian berat yang dapat hilang sehingga tahapan ini juga disebut torefaksi ringan.

3. Torefaksi

Tahap ini merupakan inti dari keseluruhan proses torefaksi. Proses torefaksi akan dimulai pada saat temperatur mencapai 200°C . Temperatur torefaksi didefinisikan sebagai temperatur konstan maksimum. Selama proses ini, sebagian besar dari berat material akan hilang.

4. Pendinginan.

Selanjutnya, biomassa yang telah ditorefaksi akan didinginkan dari temperatur kurang dari 200°C menuju temperatur akhir, yaitu temperature ruangan. Proses ini harus dijalankan tanpa adanya udara, karena menghindari ledakan debu reaktif yang tinggi yang mungkin terjadi selama proses.



Gambar 2.6 Tahapan pemanasan biomassa dari temperatur ruang hingga temperatur torefaksi yang diinginkan dan pendinginan biomassa

Sumber: Patrick Bergman, dkk. (2005)

Keterangan:

t_h = waktu pemanasan untuk pengeringan

t_{dry} = waktu pengeringan

t_{h,m_t} = waktu pemanasan antar pengeringan hingga *torrefaction*

t_{tor} = waktu reaksi pada temperatur *torrefaction* yang diinginkan

$t_{tor,h}$ = waktu pemanasan *torrefaction* dari 200°C hingga temperatur yang diinginkan

$t_{tor,c}$ = waktu pendinginan dari temperatur yang diinginkan hingga 200°C

t_c = waktu pendinginan hingga temperatur ruang

Gambar 2.6 mengilustrasikan bahwa konsumsi panas terbesar adalah ketika pemanasan awal (*pre-drying*) biomassa. Tetapi konsumsi panas bergantung pada biomassa yang digunakan, sehingga mungkin tahap pengeringan tidak terjadi untuk biomassa yang sangat kering. Konsumsi panas terbesar ke dua adalah saat *post-drying* dan selanjutnya *torrefaction*. Faktor-faktor yang berpengaruh selama proses torefaksi berlangsung adalah sebagai berikut:

1. Temperatur

Proses torefaksi berada pada rentang temperatur 200-300°C. Temperatur torefaksi memiliki pengaruh yang besar pada proses torefaksi karena tingkat degradasi termal biomassa bergantung pada temperatur. Meningkatnya temperatur torefaksi akan meningkatkan laju dekomposisi pada struktur penyusun material biomassa. Hal tersebut akan mengakibatkan terjadinya peningkatan kehilangan massa dan karbonisasi material biomassa. Temperatur yang tinggi dapat menghasilkan jumlah massa dan energi lebih rendah tetapi kerapatan energinya lebih tinggi. Fraksi karbon tetap pada biomassa meningkat sedangkan kandungan hidrogen dan oksigen akan berkurang pada saat terjadi kenaikan temperatur torefaksi. Temperatur reaksi yang tinggi melebihi temperatur torefaksi yang seharusnya akan meningkatkan laju dekomposisi yang mengakibatkan komponen lignoselulosa banyak dikonversikan ke dalam bentuk gas dan cairan, sehingga produk padatan yang dihasilkan pada proses torefaksi menjadi berkurang.

2. Waktu Tinggal

Waktu tinggal ialah parameter lain yang mempengaruhi produk yang dihasilkan dari proses torefaksi. Waktu tinggal berkaitan dengan lamanya waktu material biomassa bertahan didalam reaktor. Parameter ini dapat mempengaruhi proses dekomposisi dan karbonisasi selama proses torefaksi berlangsung. Waktu tinggal bervariasi tergantung pada temperatur torefaksi, jenis biomassa, dan produk akhir yang diinginkan. Proses torefaksi dengan waktu tinggal yang lebih lama akan menghasilkan massa produk padatan yang lebih rendah tetapi memiliki energi padatan yang lebih tinggi, walaupun efek waktu tinggal tidak mempengaruhi sifat biomassa secara signifikan (Pimchuai dkk., 2010).

3. Ukuran Partikel

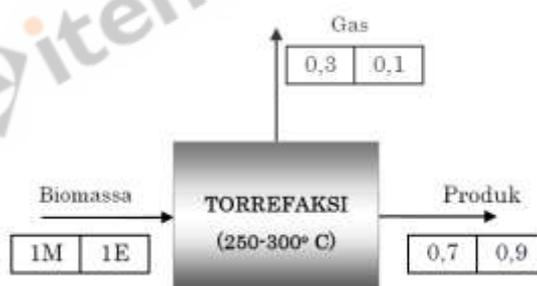
Menurut Patrick Bergman dan Jacob Kiel (2005), Ukuran partikel dapat mempengaruhi reaksi dari torefaksi, tetapi lebih rendah dibandingkan temperatur dan waktu tinggal. Ukuran partikel mempengaruhi luas permukaan kontak perpindahan panas antara material biomassa dan sumber panas selama berlangsungnya proses dekomposisi termal. Semakin kecil ukuran bahan baku yang digunakan maka permukaan perpindahan panas akan semakin luas dan dapat meningkatkan laju

pemanasan ke permukaan bahan baku. Hal ini dapat berakibat pada peningkatan laju dekomposisi pada material biomassa dan meningkatkan efisiensi torefaksi terutama pada kebutuhan waktu tinggal yang pendek.

4. Jenis Biomassa

Jenis biomassa termasuk kedalam parameter penting lainnya yang dapat mempengaruhi proses torefaksi. Hal ini karena kandungan hemiselulosa paling banyak terdegradasi pada saat proses torefaksi dan berakibat pada kehilangan jumlah massa yang lebih tinggi pada biomassa yang banyak mengandung hemiselulosa. Dalam kisaran suhu torefaksi kandungan xilan dari hemiselulosa paling reaktif sehingga menurunkan massa lebih cepat dari komponen padat lainnya dari biomassa (Basu, 2013).

Selama proses torefaksi berlangsung, kadar air akan terlepas dan terjadi proses devolatilisasi terbatas. Pada proses ini massa akan berubah menjadi 70% massa awal, kandungan energinya menjadi 90%, dan kadar air 1-2%. Sehingga secara keseluruhan dapat meningkatkan nilai kalor per unit massa.



Gambar 2.7 Kesetimbangan massa dan energi proses torefaksi
(M: massa, E:energi)

Gambar 2.7 menggambarkan kesetimbangan massa dan energi tipikal untuk proses torefaksi. Secara umum, 70% massa akan menjadi produk padatan, sedangkan 30% massa akan dikonversi menjadi gas torefaksi. Sementara itu, hanya 10% kandungan energi yang terbawa oleh gas torefaksi, sehingga terjadi densifikasi energi sebesar 1,3 basis massa. Hal ini sangat berbeda dengan proses pirolisis konvensional yang hanya bisa mendapatkan 55-65% energi pada produk padatnya.

2.11 Hasil Penelitian yang Telah Dilakukan Terkait dengan Bahan Bakar Padat dari Limbah Organik

Pada tahun 2005, Igne dan Dameria dari Teknik Kimia ITENAS melakukan penelitian tentang pembuatan briket arang dari serbuk kayu sengon. Proses pengolahan serbuk kayu sengon menjadi briket yang dilakukan melalui proses pirolisis pada temperatur 400°C dan 500°C selama 2 jam. Kesimpulan dari briket yang dihasilkan yaitu (Suryanto, 2005):

1. Briket arang dengan tekanan pengempaan yang besar memiliki waktu penyalaan yang lebih lama.
2. Semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin banyak senyawa- senyawa organik peyusun kayu yang terurai menjadi arang.
3. Kadar emisi CO dari pembakaran briket arang pada temperatur pirolisis 400°C adalah 0,0057% dan temperatur 500°C adalah 0,0033%.

Tahun 2007, Eliana dan Sonya dari Teknik Kimia ITENAS melakukan penelitian mengenai pembuatan briket dari sekam padi menggunakan *polyethylene* sebagai *binder*. Pada percobaannya dilakukan proses pirolisis pada temperatur 300°C, 500°C, dan 600°C selama 3,5 jam. *Polyethylene* yang digunakan tidak hanya sebagai *binder*, namun sebagai peningkat nilai kalor. Kondisi terbaik pirolisis yang dilakukan yaitu pada komposisi 25% *polyethylene* dan 75% sekam padi serta pada temperatur 600°C dengan nilai kalor sebesar 4672 kcal/kg (Sari dan Paramita, 2007).

Pada tahun 2009, Azhar dan Heri Rustamaji Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung melakukan penelitian mengenai bahan bakar padat dari bambu dengan proses *torrefaction* dan *densification*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara densitas briket bambu dengan nilai kalor dan laju keterbakarannya. Proses pengolahan awal bambu dipotong dengan ukuran 20 cm kemudian dilakukan proses *torrefaction* pada temperatur 200°C, 250°C dan 300°C selama 2 jam di dalam *furnace*. Bambu hasil *torrefaction* digiling dan diayak pada ukuran 60 *mesh* hingga halus. Variabel percobaan yang digunakan berupa komposisi bahan baku sebanyak 1 kg; 1,2 kg dan 1,4 kg kemudian ditekan dengan dongkrak pada tekanan 3,5-5 MPa. Briket yang dihasilkan memiliki diameter 9 cm dan tinggi 16 cm. Briket kemudian ditentukan nilai bakarnya, dilakukan analisis *proximate* (komposisi

kimiawi), analisis *ultimate* serta laju keterbakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *torrefaction* berhasil dilakukan pada temperatur 200-300°C serta memperoleh produk arang yang memiliki sifat getas, hidrofobik dan kandungan *moisture-nya* menurun. Briket bambu dengan densitas lebih besar memiliki nilai kalor lebih tinggi serta laju keterbakarannya kecil (Azhar dkk., 2009).

Pada tahun 2012 Anton Irawan dkk, Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa melakukan penelitian mengenai pengolahan sekam padi sebagai bahan bakar melalui proses *torrefaction*. Percobaan awal, sekam padi dilakukan proses *torrefaction* dalam suatu oven pada temperatur 200-250°C sebanyak 25 gram. Variasi yang digunakan berupa temperatur oven sebesar 200°C, 225°C dan 250°C dan lama proses *torrefaction* yaitu 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Sekam padi yang telah mengalami proses *torrefaction* dikeringkan menggunakan sinar matahari kemudian dilakukan analisis secara *proksimate* dan *ultimate* serta kandungan energinya. Analisa *proksimate* dilakukan untuk melihat perubahan komposisi khususnya pada kandungan air dan kandungan *volatile matter*. Hasil dari penelitian ini adalah proses *torrefaction* untuk sekam padi dapat berlangsung pada temperatur 200-250°C. Laju penurunan massa sebanding dengan semakin lamanya proses *torrefaction* dan proses *torrefaction* mampu menaikkan densitas energi dari sekam padi. Kondisi terbaik didapatkan pada temperatur 250°C dan waktu proses 60 menit dengan nilai kalor yang didapatkan 2977,7 kcal/kg (Irawan, 2012).

Pada tahun 2013, Anggiat Jupar P.T Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro melakukan penelitian mengenai metode *torrefaction* pada biobriket campuran 75% kulit mete dan 25% sekam padi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh metode *torrefaction* terhadap kenaikan nilai kalor biobriket. Sebelum penelitian dilakukan, kulit mete dan sekam padi ditimbang dengan perbandingan berat masing-masing 75% dan 25%. Kemudian bahan tersebut digiling dan direkatkan dengan lem PVA lalu dibentuk menjadi briket dengan tinggi 25-30 mm dan diameter 25 mm. Briket di *torrefaction* dengan variasi temperatur 200°C, 250°C, dan 300°C serta waktu tinggal untuk masing-masing temperatur selama 15, 25, dan 35 menit. Hasil dari penelitian ini adalah semua variasi berhasil menaikkan nilai kalor dari briket. Kenaikkan nilai kalor paling tinggi terjadi pada temperatur 300°C dengan waktu tinggal 25 menit sebesar 6014,70 cal/gram dan kenaikan yang terjadi sebesar 22,3% dari nilai kalor tanpa *torrefaction* sebesar 4918,36 kal/g. Selain

itu juga persentase penurunan berat terbesar juga terjadi pada variasi uji tersebut sebesar 53,83% dari berat awal briket sebesar 16 gram (Jupar, 2013).

Pada tahun 2013, Ajimufti dan Annisa Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung melakukan penelitian mengenai karakteristik produk torefaksi limbah kayu karet. Limbah kayu karet sebesar 25 gram dengan ukuran dimensi 5x5x40 mm dimasukkan ke dalam kassa logam. Kassa tersebut dimasukkan kedalam reaktor *tubular furnace* yang telah dipanaskan hingga temperatur 100°C yang dijaga *inert* dengan mengalirkan nitrogen teknis sebanyak 260 mL/min kemudian temperatur dinaikkan hingga mencapai temperatur *torrefaction* dengan laju pemanasan 45°C/menit. *Torrefaction* dilakukan dengan variasi waktu reaksi terkoreksi (waktu ekuivalent) 30, 45, dan 60 menit dan temperatur sebesar 225°C, 250°C, 275°C, dan 300°C. Hasil dari penelitian ini adalah temperatur *torrefaction* memberikan pengaruh yang lebih signifikan terhadap karakteristik pembakaran produk dibandingkan waktu *torrefaction*. Semakin tinggi temperatur dan waktu *torrefaction* maka nilai kalor pembakaran semakin meningkat. Akan tetapi, hal ini diikuti dengan hilang massa yang semakin besar. Berdasarkan parameter nilai kalor, perolehan energi, hilang massa, dan nilai kelembapan maka kondisi optimal proses *torrefaction* pada temperatur 275°C pada waktu reaksi 45 menit dengan nilai kalor 5005 kcal/kg (Azhari dkk., 2013).

Tahun 2016, Raditya dan Bobie dari Teknik Kimia ITENAS melakukan penelitian mengenai pembuatan briket dari limbah sebetan kayu pinus melalui proses *torrefaction*. Variasi temperatur yang dilakukan yaitu 240°C, 270°C, dan 300°C dan rasio perbandingan komposisi bahan baku terhadap perekat berupa tepung kanji yaitu 85%b:15%b; 90%b:10%b; dan 95%b:5%b. Kondisi terbaik proses pembuatan briket dari limbah sebetan kayu pinus yaitu pada temperatur *torrefaction* 300°C dan komposisi binder sebesar 10%b dari bahan baku dengan kadar air 2,26%, kadar abu 1,35%, volatile matter 35,68%, fixed carbon 60,71%, nilai kalor 6507 kal/g, persentase hilang massa 81,2% dan memiliki tekstur yang kokoh serta berwarna hitam. Nilai kalor briket dari limbah sebetan kayu pinus berkisar antara 6107 kal/g hingga 6973 kal/g yang setara dengan batubara kelas subbituminous tipe C (Amalia dan Kurniawan, 2016).