

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bahan bakar hayati atau biofuel adalah setiap bahan bakar baik padatan, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Biofuel dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industry, komersial, domestic atau pertanian. Ada tiga cara untuk pembuatan biofuel antara lain pembakaran limbah organik kering, fermentasi limbah basah tanpa oksigen untuk menghasilkan biogas, atau fermentasi untuk menghasilkan alkohol ester, dan energi dari hutan.

Biofuel menawarkan kemungkinan memproduksi energi tanpa meningkatkan kadar karbon di atmosfer karena berbagai tanaman yang digunakan untuk memproduksi biofuel mengurangi kadar karbondioksida di atmosfer, tidak seperti bahan bakar fosil yang mengembalikan karbon yang tersimpan di bawah permukaan tanah selama jutaan tahun ke udara. Dengan begitu biofuel lebih bersifat carbon neutral dan sedikit meningkatkan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer. Penggunaan biofuel mengurangi pula ketergantungan pada minyak bumi serta meningkatkan keamanan energi.

2.1 Kopi

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kopi. Varietas kopi yang dibudidayakan di Indonesia adalah varietas Arabika (*Coffee Arabica*) dan robusta (*Coffee canhephora*). Di Indonesia tanaman kopi dibudidayakan oleh rakyat dan perkebunan besar beberapa tempat, antara lain di Aceh, Sumatra Selatan, Sumatra Barat, Sumatra Utara, Lampung, Bengkulu, Jawa Timur, Bali dan Sulawesi Selatan, dari keseluruhan sentra produksi tersebut produksi kopinya mencapai 88,37% dari total produksi Indonesia.

Kopi adalah minuman hasil seduhan biji kopi yang telah disangrai dan dihaluskan menjadi bubuk. Kopi merupakan salah satu komoditas di dunia yang dibudidayakan lebih dari 50 negara. Konsumsi kopi dunia mencapai 70% berasal dari spesies kopi arabika dan 26% berasal dari spesies robusta. Kopi merupakan keluarga dari Rubiaceae genus Coffea. Sudah

ada 80 spesies kopi yang diidentifikasi di dunia namun kopi yang sering diproduksi dan dikonsumsi oleh masyarakat dunia adalah kopi robusta dan arabika (Farah A, 2012). Kandungan kimia pada kopi adalah sebagai berikut;

Tabel 2. 1 Kandungan Kimia yang Terdapat pada Biji Kopi Arabika dan Robusta

Komponen	Konsentrasi (g/100g)		Konsentrasi (g/100g)	
	Green Coffee Arabica	Roasted Coffea Arabica	Green Coffee Canephora	Roasted Coffee Canephora
Sukrosa	6 – 9	4,2 – tr	0,9 – 4	1,6 – tr
Gula Pereduksi	0,1	0,3	0,4	0,3
Polisakarida	34 – 44	31 – 33	48 – 55	37
Lignin	3	3	3	3
Pectin	2	2	2	2
Protein	10 – 11	7,5 – 10	10 – 11	7,5 – 1
Asam Amino Bebas	0,5	Tidak terdeteksi	0,8 – 1	Tidak terdeteksi
Kafein	0,9	1,1 – 1,3	1,5 – 2,5	2,4 – 2,5
Trigonelline	0,6 – 2	1,2 – 0,2	0,6 – 0,7	0,7 – 0,3
Asam Nikotinic	-	0,016 – 0,026	-	0,014 – 0,025
Minyak kopi (trigliserida, sterol/ tocopherol)	15 – 17	17	7 – 10	11
Diterpen	0,5 – 1,2	0,9	0,2 – 0,8	0,2
Mineral	3 – 4,2	4,5	4,4 – 4,5	47
Asam Klorogenat	4,1 – 7,9	1,9 – 2,5	6,1 – 11,3	3,3 – 3,8
Asam Alifatik	1	1,6	1	1,6
Asam Quinic	0,4	0,8	0,4	1

Menurut Mabrouk dan Deatherage (1985), senyawa yang membentuk aroma dan rasa pada kopi yaitu golongan:

1. Golongan fenol dan asam tidak mudah menguap yaitu asam kofeat, asam klorogenat, asam ginat dan riboflavin.
2. Golongan senyawa karbonil yaitu asetaldehid, propanon, alkohol, vanilin aldehyd.
3. Golongan senyawa karbonil asam yaitu oksasuksinat, aseto asetat, hidroksi pirufat, keton kaproat, oksalasetat, mekoksalat, dan merkaptopiruvat.
4. Golongan asam amino yaitu leusin, iso leusin, variline, hidrokspiriline alanin, threonin, glisin dan asam aspartat.

5. Golongan asam mudah menguap yaitu asam asetat, propionat, butirrat dan volerat.

Asam klorogenat terdekomposisi bertahap seiring dengan pembentukan aroma volatil dan senyawa melanoidin, dan terlepas sebagai CO₂. Senyawa yang menyebabkan rasa sepat atau rasa asam seperti tanin dan asam asetat akan hilang dan sebagian lainnya akan bereaksi dengan asam amino membentuk senyawa melanoidin yang memberikan warna coklat. Perubahan sifat fisik dan kimia terjadi selama proses penyangraian seperti *swelling*, penguapan air, terbentuknya senyawa *volatile*, karamelisasi karbohidrat, pengurangan serat kasar, denaturasi protein, terbentuknya gas sebagai hasil oksidasi dan terbentuknya aroma yang karakteristik pada kopi.

Kopi bubuk adalah biji kopi yang telah disangrai, digiling atau ditumbuk sehingga mempunyai bentuk halus (Hayati, 2006). Kunci dari proses produksi kopi bubuk adalah penyangraian karena ini merupakan tahap pembentukan aroma dan citarasa khas dari dalam biji kopi dengan perlakuan panas. Berdasarkan suhu *roasting* (penyangraian) yang digunakan kopi dibedakan atas tiga golongan, yaitu *light roast* (suhu yang digunakan sekitar 193⁰C hingga 199⁰C) yang mampu mengurangi kadar air 3% - 5%, *medium roast* dengan suhu yang digunakan 204⁰C sehingga mampu mengurangi kadar air sekitar 5% - 8%, dan golongan yang ketiga adalah *dark roast* suhu yang digunakan 213⁰C sampai 221⁰C yang mampu mengurangi kadar air pada kopi sekitar 8% - 14%. Biji kopi dengan penyangraian gelap (*dark roast*) menghasilkan warna biji kopi makin hitam karena senyawa hidrokarbon terpirolisis menjadi unsur karbon sedangkan senyawa gula mengalami karamelisasi (Khusna D dan Susanto J, 2015).

2.2 Ampas Kopi

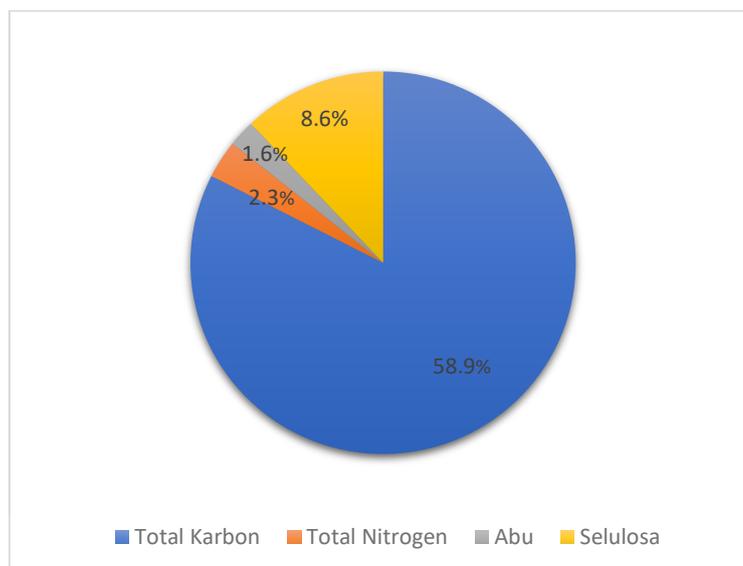
Ampas bubuk kopi yang dihasilkan dari dari restoran dan limbah industri kopi merupakan salah satu dari beberapa limbah agroindustri. Jumlah limbah yang dihasilkan sangat besar tetapi hanya sebagian kecil dimanfaatkan penggunaannya untuk pakan ternak dan lain-lain. Sebagian besarnya limbah tersebut dibakar dilapangan terbuka atau dibiarkan begitu saja sehingga menimbulkan polusi lingkungan dan menjadi limbah biomassa (Hachicha et al. 2012). Kandungan ampas kopi yang meliputi total karbon sebesar 47,8 – 58,9 %, total

nitrogen sebesar 1,9 – 2,3 %, abu sebesar 0,43 – 1,6 % dan selulosa 8,6% (Baryatik P, 2016). Ampas kopi memiliki zat organik dengan konsentrasi tinggi dan pH yang tinggi, salah satu aplikasi terbaik dari limbah ampas kopi dengan menjadikannya sebagai bahan bakar karena mempunyai nilai kalor 20,9 MJ/kg pada kondisi kering dan 14,6 MJ / kg (kondisi basah) (Romeiro et al. 2012). Ampas kopi mempunyai kandungan organik tinggi seperti karbohidrat, protein, serat, kafein, polifenol, tanin dan pectin. Ampas kopi cocok digunakan sebagai bahan baku pembuatan pakan ternak dan pupuk organik serta dapat digunakan sebagai bahan baku potensial untuk menghasilkan produk yang berguna seperti enzim, asam organik, rasa dan senyawa beraroma. Di sisi lain, ampas kopi mempunyai sumber karbon yang cukup tinggi yang hampir sama dengan berbagai limbah hasil pengolahan pertanian yang dijadikan produk untuk digunakan sebagai bahan bakar biomassa dalam rumah tangga maupun pabrik.

Ampas kopi mempunyai banyak manfaat, terutama bagi tumbuhan yaitu dapat menambah asupan Nitrogen, Fosfor dan Kalium (NPK) yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga dapat menyuburkan tanah. Ampas kopi dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik karena mengandung mineral, karbohidrat, membantu terlepasnya nitrogen sebagai nutrisi tanaman, dan ampas kopi bersifat asam sehingga menurunkan pH tanah (Yunus, 2010). Ampas kopi mempunyai kandungan organik tinggi seperti karbohidrat, protein, serat, kafein, polifenol, tanin, dan pektin, Ampas kopi cocok digunakan sebagai bahan baku pembuatan pakan ternak dan pupuk organik serta dapat digunakan sebagai bahan baku potensial untuk menghasilkan produk yang berguna seperti enzim, asam organik, rasa dan senyawa beraroma (Aprita, 2016).

Kandungan ampas kopi yang meliputi total karbon sebesar 47,8 – 58,9 %, total nitrogen sebesar 1,9 – 2,3 %, abu sebesar 0,43 – 1,6 % dan selulosa 8,6% (Baryatik P, 2016). Ampas kopi memiliki zat organik dengan konsentrasi tinggi dan pH yang tinggi, salah satu aplikasi terbaik dari limbah ampas kopi dengan menjadikannya sebagai bahan bakar karena mempunyai nilai kalor 20,9 MJ/kg pada kondisi kering dan 14,6 MJ/kg dalam kondisi basah (Romeiro dkk, 2012). Sumber karbon pada ampas kopi cukup tinggi dan hampir sama dengan berbagai limbah hasil pengolahan pertanian yang dijadikan produk untuk digunakan

sebagai bahan bakar biomassa dalam rumah tangga maupun pabrik (Tsai dkk, 2012). Berikut diagram dari kandungan kimia ampas kopi;



Gambar 2.1 Kandungan Kimia dari Ampas Kopi

2.3 Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan suatu materi di mana apabila dipanaskan pada suhu tertentu disertai oksidasi dengan oksigen (O_2) akan terjadi proses pembakaran. Produk hasil proses pembakaran ada tiga, yaitu: radiasi panas, emisi gas buang dan abu. Berdasarkan formasi dan proses pembentukannya bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam, antara lain:

1. Berdasarkan materi pembentuknya, bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:
 - a. Bahan bakar berbasis bahan organik, yang terdiri dari:
 - 1) Bahan bakar fosil, misalnya: batubara, minyak bumi dan gas bumi.
 - 2) Bahan bakar terbarukan (biofuel), misalnya: biomassa, biogas, biodiesel, bioetanol yang berbasis pada minyak nabati dan hewani. Bahan bakar organik tersusun dari unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), oksigen (O), sulfur (S) dan lain-lain dalam jumlah kecil. Dari beberapa unsur kimia pembentuk bahan bakar tersebut, unsur C, H, dan S merupakan kandungan

utama yang berperan sebagai bahan bakar. Bahan bakar nuklir, misalnya: uranium dan plutonium. Energi yang dihasilkan dari reaksi rantai penguraian atom-atom melalui peristiwa peluruhan radioaktif.

2. Berdasarkan wujudnya, bahan bakar dibagi menjadi tiga, yaitu: Bahan bakar padat, bahan bakar cair, dan Bahan bakar gas.
3. Berdasarkan proses pembentukannya, bahan bakar dibagi menjadi dua, yaitu: Bahan bakar alamiah dan bahan bakar non-alamiah. Bahan bakar padat tersusun dari: komponen yang dapat terbakar, yaitu komponen yang mengandung: C, H, S, yaitu unsur-unsur yang bila terbakar membentuk gas, disebut sebagai bahan dapat terbakar yang membentuk gas.

2.4 Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat adalah bahan bakar yang bersifat keras dan strukturnya sangat rapat. Bahan bakar padat telah digunakan sejak dahulu sebagai sumber energi yang menghasilkan panas dari proses pembakaran material/zat yang berbentuk padat. Bahan bakar padat merupakan bahan bakar alternatif yang paling murah dan dimungkinkan untuk dikembangkan secara masal dalam waktu yang relatif singkat mengingat teknologi dan peralatan yang digunakan relatif sederhana (Nugraha, J.R, 2013). Bahan bakar padat contohnya antara lain:

a. Batubara

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

Reaksi pembentukan batubara jenis lignit sebagai berikut:

Untuk menetapkan briket yang layak dipasarkan dan terjangkau oleh masyarakat secara umum perlu ada penetapan standar kualitas dari briket tersebut. Standar kualitas briket di berbagai negara berbeda-beda, di Indonesia belum ada mengenai standar kualitas briket. Di Jepang, Amerika (USA), dan Inggris mempunyai standar kualitas briket seperti pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2. 2 Standar Kualitas Briket

Sifat Kualitas Briket Arang	Standar				
	Puslitbang Hasil Hutan	SNI 01-6235-2000	Jepang	Inggris	Amerika
Kerapatan (g/cm ³)	> 0,7	-	1-2	0,84	1
Kadar Air (%)	< 8	< 8	6-8	3-4	6
Keteguhan Tekanan (kg/cm ²)	> 12	-	60	12,7	62
Zat Mudah Menguap (%)	< 30	< 15	15-30	16	19
Kadar Abu (%)	< 8	< 8	3-6	10	18
Karbon Terikat (%)	> 60	-	60-80	75	58
Nilai Kalor (kal)	> 6.000	> 5.000	6.000-7.000	7.300	6.500

Sumber: Sudrajat (1982)

2.6 Pembriketan

Pembriketan adalah salah satu teknologi pemadatan dimana suatu bahan dikenai tekanan untuk membentuk produk yang mempunyai *bulk density* lebih tinggi, kandungan air yang lebih rendah, keragaman dalam ukuran dan sifat-sifat bahannya. 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. 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 pemadatannya 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.

Untuk menyempurnakan pembriketan ada dua cara yaitu dengan atau tanpa pengikat (*binder*). Pengikatan dibutuhkan untuk membuat bahan yang akan dibriketkan menjadi homogen selama proses penekanan. Tanpa pengikat, briket akan remuk menjadi potongan-potongan saat diangkat dari cetakan. Namun, terdapat bahan yang tidak memerlukan *binder* yaitu bahan yang pada temperatur dan tekanan tinggi dapat bersifat sebagai perekat atau pengikatnya sendiri (Mutaqin I dan Rajak H, 2005).

Dengan pemakaian bahan pengikat maka tekanan akan jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan briket tanpa memakai bahan pengikat. Penggunaan bahan pengikat dimaksudkan untuk menarik air dan membentuk tekstur yang padat atau mengikat dua substrat yang akan direkatkan. Menurut Royhan M (2003), bahan pengikat dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

a) Pengikat anorganik

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

b) Bahan pengikat tumbuh-tumbuhan

Jumlah bahan perekat yang dibutuhkan untuk jenis ini jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan bahan perekat *hydrocarbon*. Kerugian yang dapat ditimbulkan adalah arang cetak (briket) yang dihasilkan kurang tahan terhadap kelembaban.

c) *Hydrocarbon* dengan berat molekul besar

Bahan perekat jenis ini sering kali dipergunakan sebagai bahan perekat untuk pembuatan arang cetak ataupun batubara cetak.

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

1) Tepung tapioka (kanji)

Tepung tapioka umum digunakan sebagai bahan perekat briket karena banyak terdapat dipasaran, harganya relatif murah, dan cara membuatnya mudah yaitu cukup mencampurkan tepung tapioka dengan air lalu didihkan. Selama pemanasan, tepung diaduk terus agar tidak menggumpal. Warna tepung yang putih akan berubah menjadi transparan setelah beberapa menit dipanaskan dan terasa lengket di tangan (Lubis, H A, 2011).

Perekat tapioka dalam penggunaannya menimbulkan asap yang relatif sedikit dibandingkan bahan perekat lainnya. Perekat tapioka 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. Keuntungan perekat tepung tapioka yaitu menghasilkan kekuatan rekat kering yang tinggi. Namun perekat ini juga memiliki kelemahan yaitu ketahanan terhadap air rendah, mudah diserang jamur, bakteri dan binatang pemakan pati.

Tabel 2. 3 Analisa Tepung Tapioca

Parameter	Nilai
Air (%)	9,84
Abu (%)	0,36
Lemak (%)	1,5
Protein (%)	2,21

Tabel 2. 4 Analisa Tepung Tapioca (Lanjutan)

Parameter	Nilai
Serat kasar (%)	0,69
Karbon (%)	85,2

Sumber: Nodali Ndraha (2009)

2) Tar batubara

Tar batubara merupakan cairan kental berwarna hitam pekat hasil karbonisasi dan gasifikasi batubara. Selain dari batubara, tar dapat diperoleh dari distilasi minyak bumi atau tumbuhan seperti batang pohon pinus (*pine tar oil*). Tar 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. Kendala yang dihadapi dalam pengolahan tar adalah kompleksitas senyawanya, sehingga perlu dilakukan proses pemisahan awal agar memudahkan dalam pemanfaatan lebih lanjut.

3) Tetes tebu (molase)

Tetes tebu adalah hasil samping proses pembuatan gula tebu. Tetes tebu berwujud 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 dalam tetes tebu berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan perekat pada biobriket.

4) Tanah liat

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

5) Getah karet

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

6) Getah pinus

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

7) Perekat pabrik

Perekat pabrik adalah 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 kurang ekonomis jika diterapkan pada briket, kecuali untuk melayani pesanan khusus dari konsumen.

Syarat briket yang baik adalah briket yang permukaannya halus dan tidak meninggalkan bekas hitam ditangan. Selain itu sebagai bahan bakar, briket juga harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Mudah dinyalakan
- b. Tidak/ sedikit mengeluarkan asap (*smokeless*)
- c. Tidak berbau (*odorless*)
- d. Efisiensi pancaran panasnya tinggi
- e. Emisi gas hasil pembakaran tidak mengandung racun
- f. Kedap air dan hasil pembakaran tidak berjamur bila disimpan lama
- g. Menunjukkan upaya laju pembakaran (waktu, kecepatan pembakaran, dan temperatur pembakaran) yang baik
- h. Sebaiknya cukup kuat selama penanganan dan pengangkutan
- i. Kadar abu relatif sedikit
- j. Kerapatan tinggi, sehingga ruang penyimpanannya minimum
- k. Higienis dan aman (relatif tidak ada efek samping terhadap kesehatan)

Mutu briket sebagai bahan bakar dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan kadar air briket serta tekanan pengempaan. Pengempaan dengan tekanan tinggi tidak selalu menghasilkan mutu briket yang lebih baik, karena briket yang sangat padat justru menurunkan efisiensi pembakaran dan menyulitkan penggunaannya.

Pengujian terhadap kualitas briket yang dihasilkan dapat dilakukan dengan analisis proksimat yang merupakan analisis terhadap sampel untuk mengetahui kandungan yang berada pada briket seperti berikut ini:

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 terdiri dari gas-gas yang mudah terbakar seperti hidrogen, karbon monoksida (CO), dan metana (CH₄). Tetapi kadang-kadang terdapat juga gas-gas yang tidak terbakar seperti karbon dioksida (CO₂) dan H₂O. *Volatile matter* adalah bagian dari briket yang terbentuk bila briket tersebut dipanaskan tanpa udara pada temperatur tertentu. Untuk kadar *volatile matter* ±40%, pada pembakaran akan memperoleh nyala yang panjang dan akan memberikan asap yang banyak. Sedangkan untuk kadar *volatile matter* yang rendah antara 15-25% lebih disenangi dalam pemakaian karena asap yang dihasilkan sedikit.

4) Karbon tetap (*fixed carbon*)

Fixed carbon adalah karbon dalam keadaan bebas yang tidak terikat dengan elemen lain. Kandungan *fixed carbon* dapat memberikan gambaran kasar atas nilai kalor. *Fixed carbon* tidak dapat diketahui melalui pengujian secara laboratorium, melainkan hasilnya didapatkan dari hasil perhitungan jenis analisis proksimat lainnya yaitu dengan pengurangan dari kadar abu, kadar air dan kadar zat terbang.

5) Nilai kalor

Nilai kalor adalah jumlah panas yang dipindahkan ketika produk dari pembakaran bahan bakar didinginkan hingga mencapai temperatur awal dari bahan bakarnya atau udara pembakarnya. Nilai ini juga menunjukkan jumlah energi kimia suatu massa atau volume bahan bakar. Ada 2 jenis nilai kalor yaitu:

1. 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.



2. 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.



Pengujian nilai kalor dilakukan dengan menggunakan alat berupa *bomb calorimeter*. Pengujian nilai kalor ini bertujuan untuk menentukan nilai kalor optimum yang terkandung dalam briket. Nilai kalor merupakan salah satu indikator utama dari setiap jenis bahan bakar komersial.



Gambar 2. 2 *Bom Calorimeter*

Adapun analisis yang dilakukan pada briket yaitu analisis eksperimental. Analisis eksperimental merupakan bentuk penelitian dimana peneliti dengan sengaja memberikan perlakuan terhadap subjek, selanjutnya mengamati dan mencatat reaksi subjek. Pada hakekatnya tujuan penelitian eksperimental adalah meneliti pengaruh perlakuan terhadap perilaku yang timbul sebagai akibat perlakuan. Sementara Hadi (1985) mendefinisikan penelitian eksperimental sebagai penelitian yang dilakukan untuk mengetahui akibat yang ditimbulkan dari suatu perlakuan yang diberikan secara sengaja oleh peneliti. Kesimpulannya penelitian eksperimental adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian suatu *treatment* atau perlakuan terhadap subjek penelitian.

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk melakukan analisis eksperimental terhadap briket dari ampas kopi dengan pengujian yang meliputi laju pengurangan massa dan lama pembakaran pada briket ampas kopi.

a. Laju Pengurangan Massa

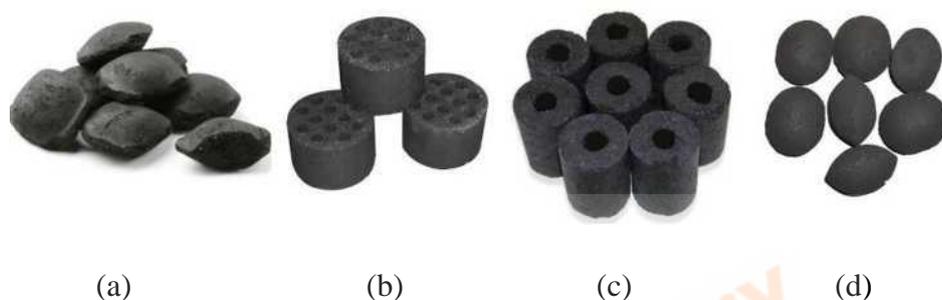
Laju pengurangan massa dilakukan dengan cara membakar briket ampas kopi dan diamati hingga briket dari ampas kopi menjadi abu. Laju pengurangan massa diukur dalam satuan gram briket ampas kopi yang dibakar per menit.

b. Lama Pembakaran

Lama pembakaran dari briket ampas kopi diukur dengan cara membakar briket dari ampas kopi pada tungku. Briket ampas kopi dibakar untuk memanaskan 100 ml air hingga mendidih kemudian dicatat waktu dan kebutuhan penggunaan briket dari ampas kopi.

Dalam penggunaan briket untuk bahan bakar alternatif biasanya perlu dicetak.

Pencetakan bertujuan memperoleh bentuk yang seragam dan memudahkan dalam pengemasan serta penggunaannya. Pencetakan briket akan memperbaiki penampilan dan menambah nilai ekonomisnya. Ada berbagai macam alat pencetak yang dapat dipilih, tergantung tujuan penggunaannya yang menghendaki kekerasan atau kekuatan pengempaan tertentu. Dipasaran bebas ditemukan berbagai bentuk briket yang spesifikasinya sesuai dengan jumlah industri atau usaha yang ada dan tergantung dari penggunaannya (Lubis, H. A, 2011). Berikut beberapa bentuk briket;



Gambar 2. 3 Bentuk-bentuk briket (a) bantalan (*oval*), (b) sarang tawon (*honey comb*), (c) silinder (*cylinder*), dan (d) telur (*egg*)

2.7 Proses Pembuatan Briket

1. Proses Karbonisasi

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

- a. Karbonisasi temperatur rendah, temperatur berkisar antara 500-750°C
- b. Karbonisasi temperatur menengah, temperatur berkisar antara 750- 900°C
- c. Karbonisasi temperatur tinggi, temperatur berkisar antara 900-1175°C

2. Proses *Torrefaction*

Torrefaction adalah metode atau teknologi pemanasan biomassa pada temperatur antara 200-300°C, pada tekanan atmosfer tanpa kehadiran oksigen. Reaksi pada temperatur tersebut menyebabkan biomassa mengalami pengurangan kadar air dan kehilangan serat-serat pada strukturnya. Lamanya waktu tinggal optimal proses *torrefaction* berkisar 30-90 menit. Namun, beberapa percobaan dibuat dengan waktu tinggal pendek (hanya beberapa menit), tetapi dengan temperatur yang lebih tinggi.

Menurut Bergman P dkk (2005), terdapat lima tahap dalam proses pengolahan *torrefaction*;

a. *Initial heating*

Pada tahap ini, biomassa dipanaskan hanya untuk meningkatkan temperatur. Proses ini berlangsung selama tidak ada air yang menguap. Akhir dari proses ini ketika kelembapan dari biomassa mulai menghilang.

b. *Pre-drying*

Pada temperatur biomassa mendekati 100°C (konstan), air bebas yang dikandung oleh biomassa akan mulai menguap dengan laju yang konstan.

c. *Post-drying and interm. heating*

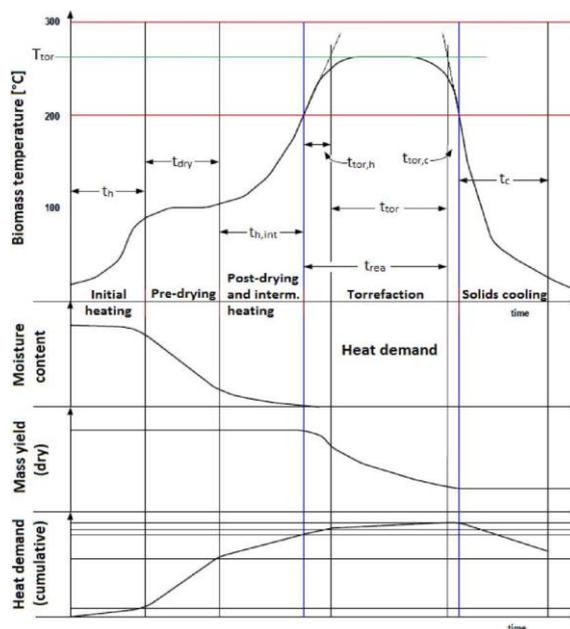
Pada temperatur biomassa mendekati 200°C, kandungan air terlepas akibat perpindahan kalor pada partikel biomassa. Selama tahapan ini juga terdapat sebagian massa yang bisa hilang sehingga tahapan ini juga disebut torefaksi ringan.

d. *Torrefaction*

Torrefaction merupakan inti dari seluruh proses ini. Proses ini dimulai saat bahan dipanaskan dari temperatur 200°C hingga 300°C (tergantung biomassa yang digunakan) dan dijaga konstan. Selama proses ini sebagian besar massa akan hilang. Berakhirnya proses *torrefaction* ketika temperatur turun pada 200°C.

e. *Solid cooling*

Pada tahap ini, biomassa didinginkan dari temperatur kurang dari 200°C. Dalam kondisi apapun proses ini harus dijalankan tanpa adanya udara, karena menghindari ledakan debu reaktif yang tinggi yang mungkin terjadi selama proses



Gambar 2. 4 Tahapan Pemanasan Biomassa dari Temperatur Ruang hingga Temperatur Torrefaction dan Pendinginan Biomassa (Bergman P 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 2.3 mengilustrasikan bahwa konsumsi panas terbesar adalah ketika pemanasan awal (*pre-drying*) biomassa. Namun tetap saja konsumsi panas tergantung pada biomassa yang digunakan, sehingga mungkin tahap pengeringan tidak ada untuk biomassa yang sangat kering. Kemudian konsumsi panas terbesar ke dua adalah saat *post-drying* dan selanjutnya *torrefaction*.

3. Proses Pirolisis

Pirolisis merupakan dekomposisi termal dari biomassa yang menggunakan panas

biasanya pada temperatur 300-650°C dan tanpa adanya oksigen. Menurut Bezanson A (2009) ada tiga jenis proses pirolisis, diantaranya;

a. *Slow Pyrolysis*

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

b. *Rapid/Fast Pyrolysis*

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

c. *Pirolisis in a Medium*

Pada proses ini biasanya menggunakan *hydrogen* atau air.

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

Berikut perbedaan antara proses *torrefaction*, pirolisis dan karbonisasi

Tabel 2. 5 Perbedaan proses *torrefaction*, pirolisis dan karbonisasi

Keterangan	<i>Torrefaction</i>	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/Gas	Padat

Seperti yang dijelaskan pada tabel 2.4, perbedaan yang paling penting antara pirolisis, karbonisasi dan *torrefaction* terletak pada permintaan produk.

2.8 Torefaksi

Torefaksi merupakan pirolisis temperatur rendah, adalah metode perlakuan panas termo-kimia untuk konversi biomassa yang berlangsung pada temperatur 200 °C sampai 300 °C dalam kondisi tekanan atmosfer dan tanpa kehadiran oksigen. Tujuan utama dari berlangsungnya proses torefaksi adalah untuk menghasilkan bahan bakar padat. Keseimbangan massa dan energi untuk fraksi padatan yang dihasilkan dari produk torefaksi biomassa (mass yield) mencapai 70% dan kandungan energi produk (energy yield) mencapai 90% di mana 30% massa lainnya diubah menjadi gas torefaksi yang hanya mengandung 10% energi biomassa (Bergman dkk., 2005).

Karbonisasi biomasa yang menggunakan torefaksi dapat memperbaiki karakteristik biomasa sebagai bahan bakar padat, yang ditandai dengan meningkatnya nilai kalor, densitas energi yang tinggi, hidrofobia serta kandungan air yang rendah. Proses torefaksi dapat menghilangkan kandungan H₂O dan CO₂ yang ada didalam biomasa, sehingga rasio O/C dan H/C dari biomassa menurun. Pada proses pemanasan awal biomasa selama terjadi proses torefaksi akan menghilangkan kandungan air yang terdapat pada permukaan biomasa (surface moisture). Pada pemanasan lebih lanjut akan menghilangkan kandungan air dari ikatan melalui reaksi kimia (inherent moisture). Sebagian besar air yang dihasilkan tersebut merupakan akibat dari proses termokondensasi yang terjadi pada temperatur diatas 160 °C saat pembentukan CO₂ dimulai. Pemanasan lebih lanjut pada temperatur antara 180-270 °C akan terjadi reaksi eksotermik dan memulai dekomposisi hemiselulosa, yang menyebabkan perubahan warna pada biomassa karena kehilangan air, CO₂, dan sejumlah besar asam asetat dan fenol. Pada temperatur diatas 280 °C keseluruhan prosesnya akan menjadi eksotermik, menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam produksi CO₂, fenol, asam asetat, dan hidrokarbon lainnya.

2.8.1 Produk Torefaksi

Proses dekomposisi termal yang terjadi pada proses torefaksi menghasilkan tiga produk utama yaitu produk padatan yang berwarna coklat sampai hitam, gas yang dapat

terkondensasi (cairan) dan gas yang tidak dapat terkondensasi (gas permanen).

Selama proses torefaksi berlangsung, biomassa kehilangan sebagian besar kandungan air dan volatil lainnya yang memiliki nilai kalor rendah. Jenis dan jumlah gas yang dihasilkan selama proses torefaksi tergantung pada jenis bahan baku dan kondisi proses torefaksi, termasuk temperatur selama proses dan waktu tinggal (Tumuluru dkk.,2011). Produk padatan terdiri dari struktur polimer dari fraksi yang tidak bereaksi selama proses torefaksi dan berbagai produk yang bereaksi. Yang mencakup oligomer yang terbentuk melalui reaksi depolimerisasi dan reaksi kondensasi, struktur organik rantai pendek yang terkondensasi dalam torefaksi biomassa, struktur yang menyerupai char yang dikarbonisasi, dan bahan mineral yang hadir dalam biomassa.

Produk cairan yang terkondensasi dari aliran volatil terdiri dari berbagai senyawa seperti air, asetat, asam, methanol, asam laktat, hidroksil aseton, dan sejumlah bahan organik lainnya. Produk cairan pada torefaksi dapat dibagi menjadi beberapa subkelompok yaitu air reaksi yang dihasilkan dari dekomposisi termal, air terikat (inherent water) dan air bebas (surface water) yang telah dilepaskan melalui penguapan, zat organik dalam bentuk cair yang terdiri dari zat organik yang dihasilkan selama devolatilisasi dan karbonisasi dan lipid yang mengandung senyawa seperti wax dan asam lemak (Tumuluru dkk.,2011).

Gas permanen atau sering disebut dengan noncondensable gas (NCG) merupakan fraksi volatil yang berada didalam fase gas pada suhu kamar. Gas permanen pada proses torefaksi terdiri dari molekul ringan seperti karbondioksida (CO_2), karbonmonoksida (CO), metana, etana dan etilena. Karbondioksida merupakan fraksi terbesar dari penyusun gas permanen yang dihasilkan (Pach dkk., 2002).

2.8.2 Parameter Torefaksi

Pada proses torefaksi material lignoselulosa akan mengalami dekomposisi kimia sehingga struktur polimernya akan berubah. Perubahan material lignoselosa tersebut dipengaruhi oleh berbagai factor selama proses torefaksi berlangsung. Faktor-faktor yang berpengaruh selama

proses torefaksi adalah sebagai berikut:

1. Temperatur

Proses torefaksi berada pada temperatur 200-300 °C. Temperatur torefaksi memiliki pengaruh yang sangat besar pada proses torefaksi karena tingkat degradasi termal biomassa bergantung pada temperatur. Meningkatnya temperatur reaksi torefaksi akan meningkatkan laju dekomposisi pada struktur penyusun material biomassa. Hal itu akan mengakibatkan terjadinya peningkatan kehilangan massa dan karbonisasi material biomassa. Temperatur yang tinggi akan 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 kenaikan temperatur torefaksi (Bridgeman dkk., 2008). Temperatur reaksi yang tinggi melebihi temperatur torefaksi 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 merupakan parameter lain yang mempengaruhi produk yang dihasilkan dari proses torefaksi. Waktu tinggal berkaitan dengan lamanya waktu material biomassa bertahan didalam reaktor. Parameter ini mempengaruhi proses dekomposisi dan karbonisasi selama proses torefaksi berlangsung. Waktu tinggal dapat 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 akan tetapi memiliki energi padatan yang lebih tinggi, walaupun efek waktu tinggal tidak mempengaruhi sifat biomassa secara signifikan.

3. Ukuran Partikel

Ukuran partikel juga mempengaruhi reaksi dari torefaksi, tetapi pada tingkat yang lebih rendah dari temperatur dan waktu tinggal. Ukuran partikel mempengaruhi luas permukaan kontak perpindahan panas antara material biomassa dan sumber panas selama terjadi proses dekomposisi termal. Semakin kecil ukuran bahan baku yang digunakan maka permukaan perpindahan panas semakin luas dan

meningkatkan laju pemanasan ke permukaan bahan baku. Hal ini mengakibatkan meningkatnya laju dekomposisi pada material biomassa dan meningkatkan efisiensi torefaksi terutama pada kebutuhan waktu tinggal yang pendek (Bergman dkk., 2005).

4. Jenis Biomassa

Jenis biomassa merupakan parameter penting lainnya yang dapat mempengaruhi proses torefaksi. Hal ini karena kandungan hemiselulosa paling banyak terdegradasi pada saat proses torefaksi, akibatnya akan kehilangan jumlah massa yang lebih tinggi pada biomassa yang banyak mengandung hemiselulosa. Kandungan xilan dari hemiselulosa paling reaktif dalam kisaran suhu torefaksi sehingga menurunkan massa lebih cepat dari komponen padat lainnya dari biomassa (Basu dkk., 2013).

