

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Caroko (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi tekanan pembriketan, perekat dan temperatur awal tungku terhadap karakteristik pembakaran briket arang sampah kota terseleksi (MSW). Arang dibriket dengan menggunakan perekat kanji, tar, dan paduan antara kanji dan tar dengan persentase perekat 20% dari total berat briket 3 gram dan variasi tekanan pengepresan sebesar 200 kg/cm², 250 kg/cm², dan 300 kg/cm². Dari pengujian ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi tekanan pembriketan yang diberikan akan mengakibatkan laju pembakaran semakin kecil, *Heat Release* semakin kecil, ITVM semakin rendah, ITFC semakin rendah, PT semakin rendah, BT semakin rendah dan Energi Aktivasi semakin kecil.

Saikia (2013) melakukan penelitian tentang analisis fisik sifat biomassa briket dengan metode pembuatan briket basah. Bahan yang digunakan berupa jerami padi, daun pisang dan daun jati. Seluruh bahan kemudian diberikan variasi tekanan pembriketan mulai dari 200 hingga 1000 kPa. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa kualitas briket meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan yang diberikan dengan *holding time* mencapai titik optimum pada 40 detik. Seiring dengan penambahan tekanan pembriketan kekuatan geser dan daya tahan meningkat. Pemberian tekanan berdampak pada ketahanan konstan untuk seluruh tipe briket. Tekanan pembriketan yang baik untuk jerami padi adalah 600 kPa, untuk daun pisang 500 kPa dan untuk daun jati 700 kPa.

Elfiano dkk (2014) melakukan penelitian tentang analisa proksimat dan nilai kalor pada briket bioarang limbah ampas tebu dan arang kayu. Ampas tebu dan arang kayu dibuat menjadi briket dengan menggunakan dua jenis perekat yaitu kanji dan damar. Tekanan yang digunakan juga divariasikan masing-masing 3,15 Mpa, 6,29 Mpa dan 8,86 Mpa. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa tekanan dan jenis perekat berpengaruh pada nilai proksimat dan nilai kalor.

Briket dengan kualitas yang paling baik adalah terbuat dari arang kayu dengan perekat damar dan ditekan pada tekanan 7,86 Mpa. Dibandingkan dengan briket arang kayu, kualitas briket ampas tebu lebih rendah tetapi tetap dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif karena masih memiliki nilai kalor yang cukup baik.

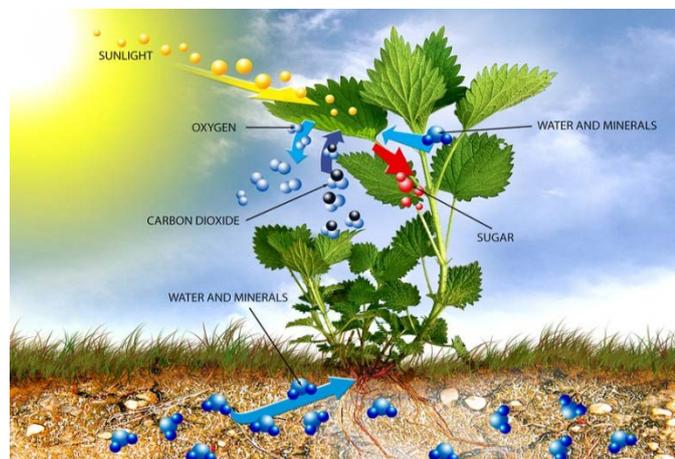
Sudiro dan Sigit Suroto (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi dan ukuran serbuk briket yang terbuat dari batubara dan jerami padi terhadap karakteristik pembakaran. Metode penelitian dilakukan dengan uji eksperimen dan simulasi computer. Parameter uji eksperimen adalah karakteristik briket yang meliputi kadar air, kadar abu, kadar *volatile matter*, kadar karbon terikat, densitas, nilai kalor dan laju pembakaran dengan variasi komposisi bahan baku dan ukuran partikel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi campuran batubara 50% dan jerami 50% pada ukuran 35 mesh dan telah sesuai dengan SNI 01-6235-2000 yaitu kadar air sebesar 5,176%, kadar abu sebesar 26,231%, kadar *volatile matter* sebesar 12,484%, kadar karbon terikat sebesar 56,105%, nilai kalor sebesar 5037,127 kal/g, densitas sebesar 0,743 g/cm² dan laju pembakaran sebesar 4,14 g/menit pada menit ke-8.

Caroko dkk (2015) melakukan penelitian tentang analisis karakteristik pembakaran briket arang limbah industri Kelapa Sawit dengan variasi bahan perekat (*binder*) kanji dan tar menggunakan metode *Thermogravimetri Analysis* (TGA). Berdasarkan percobaan dan parameter yang telah diuji, diperoleh kesimpulan bahwa briket arang Kelapa Sawit dengan persentase kadar air yang semakin tinggi maka persentase kadar *fixed carbon* akan semakin rendah. Hal ini akan menurunkan temperatur pembakaran yang meliputi ITVM (*Initiation Temperature of Volatile Matter*), ITFC (*Initiation Temperature of Fixed Carbon*), PT (*Peak of weight loss Temperature*), BT (*Burning out Temperature*) dan memperbesar nilai energi aktivasi (E_a) yang mengakibatkan waktu penyalaan semakin lama. Briket yang memiliki karakteristik pembakaran terbaik adalah briket arang Kelapa Sawit dengan *binder* kanji yang memiliki temperatur pembakaran diantara 327°C - 352°C dan memiliki waktu penyalaan yang cepat.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Biomassa

Biomassa merupakan salah satu bentuk sumber energi terbarukan yang mengacu pada bahan organik. Pada hakikatnya, energi biomassa bersumber dari matahari sehingga selama matahari masih menyinari bumi maka energi biomassa akan terus tersedia. Tanaman melakukan proses fotosintesis dengan bantuan energi yang dibawa oleh sinar matahari. Dalam proses fotosintesis tanaman menyerap gas CO_2 dari udara serta air (H_2O) yang berasal dari tanah dan mengubahnya menjadi glukosa/karbohidrat, gas O_2 , serta sebagai senyawa kimia hidro-karbon lain yang terdiri dari elemen karbon (C), hidrogen (H) serta oksigen (O). Dalam senyawa-senyawa kimia hasil proses biologis inilah energi dari sinar matahari disimpan. Oleh karena itu energi yang dibentuk melalui proses bio-kimia dalam tanaman-tanaman ini disebut juga dengan energi biomassa.



Gambar 2.1 Proses Fotosintesis (Tutun, 2012)

Dalam kaitannya dengan sumber energi terbarukan, senyawa-senyawa hasil dari fotosintesis ini dapat menjadi sumber energi. Beberapa senyawa hidro-karbon hasil fotosintesis yang dapat menjadi sumber energi terbarukan yaitu glukosa/karbohidrat termasuk juga selulosa dan lignin dalam kayu serta material pada dedaunan. Energi ini dapat dilepaskan untuk dimanfaatkan melalui berbagai bentuk proses, yaitu dengan pembakaran secara langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimiawi.

2.2.2. Ampas Tebu

Ampas tebu (*bagasse*) merupakan salah satu limbah padat dari pengolahan industri gula tebu yang volumenya mencapai 30-40% dari tebu giling. Ampas tebu jumlahnya sangat berlimpah di Indonesia dan termasuk biomassa yang mengandung lignoselulosa dan sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan menjadi sumber energi alternatif seperti bioethanol, biogas atau biobriket. Ampas tebu memiliki kandungan selulosa 52,7%, hemiselulosa 20,0%, dan lignin 24,2% (Samsuri dkk, 2007).



Gambar 2.2 Ampas Tebu (Aris, 2013)

Setiap berproduksi, pabrik gula selalu menghasilkan limbah yang terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah padat, yaitu: blotong (*filter cake*), Abu boiler dan ampas tebu (*bagasse*). Ampas tebu merupakan limbah padat yang berasal dari perasan batang tebu setelah diambil niranya. Limbah ini banyak mengandung serat dan gabus. Komposisi kimia dari ampas tebu terdiri dari beberapa senyawa yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi kimia ampas tebu (Wijiyanti, 2009)

Kandungan	Kadar (%)
Abu	3,82
Lignin	22,09
Selulosa	37,65
Sari	1,81
Pentosan	27,97
SiO ₂	3,01

2.2.3. Biobriket

Biobriket merupakan salah satu bahan bakar padat yang berasal dari sisa-sisa bahan organik. Biobriket sebenarnya berasal dari bahan lunak yang diproses menjadi bahan padat dengan bentuk tertentu. Biobriket memiliki karakteristik pembakaran yang baik sehingga tidak kalah dengan batu bara atau jenis bahan bakar lainnya (Joseph dan Hislop, 1985).



Gambar 2.3 Bioriket (Miskah, 2014)

Biobriket dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar bagi masyarakat sebagai pengganti bahan bakar fosil atau gas. Kelebihan dari penggunaan briket sebagai bahan bakar antara lain bahan baku tersedia melimpah, lebih murah dan ramah lingkungan karena meskipun energi biomassa juga melepaskan gas CO₂ ke lingkungan, namun karena proses pembentukan dan pertumbuhan biomassa di alam menyerap gas CO₂, jumlah total CO₂ di lingkungan tidak akan mengalami peningkatan.

Untuk itu, briket merupakan energi alternatif yang sangat baik untuk dikembangkan. Sebagai bahan bakar yang baik, briket harus memenuhi kriteria sebagai berikut (Nuryetti dan Nursyiwani, 2005).

- a. mudah untuk dinyalakan
- b. apabila dibakar tidak mengeluarkan asap
- c. gas hasil pembakaran tidak mengandung racun
- d. briket dapat tahan air dan tidak mudah berjamur
- e. menunjukkan upaya laju pembakaran (waktu, suhu pembakaran, dan laju pembakaran)

Kualitas dan mutu briket sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, diantaranya adalah bahan baku utama briket, bahan tambahan pembuatan briket, jenis dan jumlah bahan perekat, pengaruh kerapatan dan pengaruh tekanan yang diberikan. Briket baik digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga karena mengandung sedikit asap. Kualitas briket bioarang yang baik menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-6235-2000 adalah yang memenuhi syarat seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standarisasi briket arang (Badan Standarisasi Nasional, 2013)

No	Standarisasi	Nilai
1	Kadar Air	Maksimal 8 %
2	Kadar Volatile Matter	Maksimal 15 %
3	Kadar Abu	Maksimal 8 %
4	Densitas	Minimal 0,447 g/cm ³
5	Nilai Kalor	Minimal 5000 kal/g

2.2.4. Bahan Perekat

Bahan perekat adalah suatu zat yang memiliki kemampuan untuk menyatukan bahan-bahan lainnya melalui ikatan permukaan. Penggunaan bahan perekat dimaksudkan untuk membentuk tekstur yang padat atau mengikat antara dua substrat yang akan direkatkan. Dengan adanya bahan perekat, maka susunan partikel akan semakin baik, teratur dan lebih padat sehingga dalam proses pengempaan keteguhan tekanan pembriketan akan semakin baik dan kuat (Silalahi, 2000). Karakteristik bahan perekat yang baik untuk pembuatan briket adalah sebagai berikut :

- a. memiliki gaya kohesi yang baik.
- b. mudah menyala apabila dibakar dan tidak menimbulkan asap.
- c. tersedia melimpah di pasaran dan harganya terjangkau.
- d. tidak mengeluarkan bau yang menyengat, tidak mengandung racun dan tidak berbahaya bagi lingkungan.

Berikut adalah daftar analisa bahan perekat yang sering digunakan sebagai bahan perekat dalam pembuatan briket.

Tabel 2.3 Daftar Analisa Bahan Perekat (Ndraha, 2009)

Jenis Tepung	Air (%)	Abu (%)	Lemak (%)	Protein (%)	Serat (%)	Karbon (%)
Tepung Jagung	10,52	1,27	4,89	8,48	1,04	73,80
Tepung Beras	7,58	0,68	4,53	9,89	0,84	76,90
Tepung Terigu	10,70	0,86	2,0	11,50	0,64	74,20
Tepung Tapioka	9,84	0,36	1,5	2,21	0,69	85,20
Tepung Sagu	14,10	0,67	1,03	1,12	0,37	82,70

Dari berbagai macam jenis bahan perekat yang ada, bahan perekat yang paling umum digunakan adalah bahan perekat aci dari tepung tapioka. Kelebihan perekat aci adalah harganya murah dan mudah ditemukan di pasaran, selain itu cara pembuatannya juga cukup mudah.

2.2.5. Proses Karbonisasi

Karbonisasi adalah suatu metode yang digunakan untuk memperoleh arang (*char*) sebagai hasil dari proses pengarangan dengan cara memanaskan biomassa dengan menggunakan temperatur yang tinggi dan tanpa penggunaan udara atau oksigen. Hal ini akan menjadikan proses pembakaran tidak sempurna sehingga hanya menghasilkan arang. Pada proses karbonisasi akan melepaskan zat yang mudah terbakar seperti CO, CH₄, H₂, formaldehid, metana, formic dan acetyl acid serta zat yang tidak terbakar seperti CO₂, H₂O dan tar cair. Tujuan utamanya adalah untuk menaikkan kadar karbon tetap (*fixed carbon*), menghilangkan kandungan air (*moisture content*) dan material-material lain dalam bahan organik yang tidak dibutuhkan seperti hidrogen dan oksigen atau material menguap (*volatile matter*). Dengan karbonisasi juga akan menghasilkan produk akhir yang tidak berbau dan berasap.

Proses karbonisasi tergantung pada suhu dan jenis bahan bakar. Hal ini dikarenakan setiap bahan bakar padat memiliki kandungan hemiselulosa, selulosa dan lignin yang berbeda-beda. Untuk bahan bakar padat seperti kayu, temperatur pirolisis hemiselulosa pada temperatur antara 225-325°C, selulosa antara 325-375°C dan lignin antara 300-400°C. Ketika proses pembakaran, beberapa macam material seperti uap hidrokarbon, kandungan air dan tar terbentuk dan memecah secara cepat, sehingga produk pirolisis di lingkungan pembakaran dapat dianggap sebagai rantai pendek dari produk hidrokarbon, karbon dioksida, karbon monoksida, hidrogen dan uap air (Borman dan Ragland, 1998).

2.2.6. Pembakaran Bahan Bakar Padat

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar (*fuel*) dan oksidator dengan menimbulkan nyala dan panas yang besar dan luminesens. Bahan bakar (*fuel*) merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur oksigen (O), hidrogen (H), karbon (C), nitrogen (N) dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar (*fuel*) (Taufiq, 2008).

Menurut Himawanto D. A. (2005), mekanisme pembakaran biomassa terdiri dari tiga tahap yaitu pengeringan (*drying*), devolatilisasi (*devolatilization*), dan pembakaran arang (*char combustion*).

a. Pengeringan (*drying*)

Proses pengeringan adalah proses dimana kandungan air (*moisture content*) dalam bahan bakar mulai menghilang dikarenakan kenaikan temperatur pada ruang bakar. Proses pengeringan bahan bakar terjadi pada temperatur diatas 105°C, hal ini dikarenakan titik didih air sebesar 100°C.

b. Devolatilisasi (*devolatilization*)

Setelah bahan bakar melalui proses pengeringan maka bahan bakar mulai mengalami dekomposisi, yaitu pecahnya ikatan kimia secara termal dan keluarnya zat mudah terbuang (*volatile matter*) dari partikel. Dalam proses ini, selain

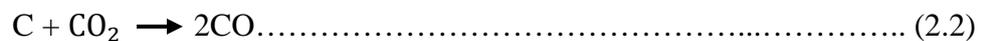
melepaskan volatile, terjadi juga pembakaran arang yang merupakan tahapan reaksi antara karbon (C) dan oksigen (O₂) yang akan melepaskan kalor.

c. Pembakaran arang (*char combustion*)

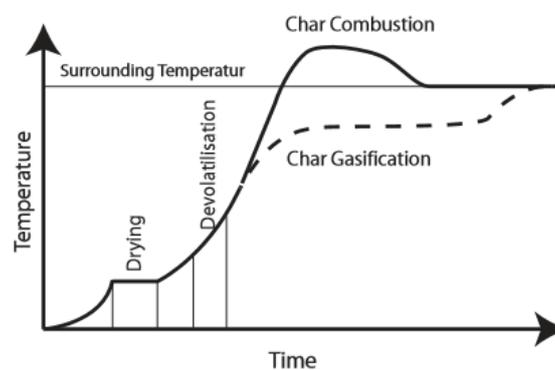
Proses terakhir dari tahapan pembakaran bahan bakar padat adalah pembakaran arang (*char combustion*). Ketika proses devolatilisasi telah selesai maka yang tersisa hanyalah arang (*char*) dan sedikit abu (*ash*). Laju pembakaran arang tergantung pada ketersediaan oksigen, temperatur gas, bilangan Reynold, ukuran bahan bakar dan porositas. Arang karbon bereaksi dengan oksigen pada permukaan untuk membentuk karbon monoksida menurut reaksi 2.1-2.3. (Borman dan Ragland, 1998)



Permukaan karbon juga bereaksi dengan karbondioksida dan uap air sesuai dengan reaksi reduksi sebagai berikut :



Reaksi reduksi (2.2) dan (2.3) secara umum lebih lambat dari pada reaksi oksidasi (2.1), dan untuk pembakaran biasanya hanya reaksi (2.1) yang diperhitungkan. Dimana ketika oksigen habis, maka reaksi reduksi ini penting.



Gambar 2.4 Grafik mekanisme pembakaran (Thunman dan Leckner, 2007)

2.2.7. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat

Bahan bakar padat dapat terbakar dengan baik ketika memiliki beberapa karakteristik bahan bakar yang baik. Beberapa faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat, antara lain :

a. ukuran partikel

Ukuran partikel bahan bakar padat sangat mempengaruhi proses pembakaran. Semakin kecil ukuran partikel maka proses pembakaran akan semakin cepat.

b. kecepatan aliran udara

Kecepatan aliran udara yang disalurkan akan meningkatkan tekanan aliran dan jumlah oksigen, sehingga temperatur dan laju pembakaran akan mengalami kenaikan dalam satu rentang waktu.

c. temperatur udara pembakaran

Temperatur udara pembakaran yang tinggi akan menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran. Hal ini dikarenakan kenaikan temperatur pembakaran akan mempercepat reaksi pembakaran karbon dan oksigen.

d. jenis bahan bakar

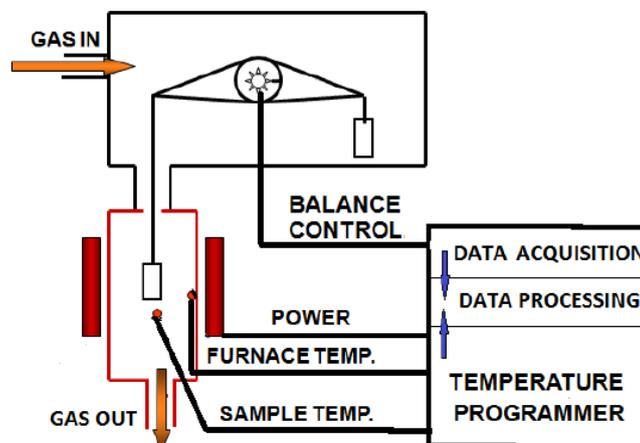
Jenis bahan bakar yang digunakan menentukan karakteristik bahan bakar. Karakteristik tersebut antara lain kandungan karbon, zat mudah menguap (*volatile matter*) dan kadar air (*moisture content*). Semakin banyak kandungan karbon pada biobriket maka proses pembakaran akan semakin lama.

2.2.8. *Thermogravimetry Analysis* (TGA)

Thermogravimetry Analysis (TGA) adalah teknik dimana suatu material dalam lingkungan dipanaskan atau didinginkan pada tingkat yang terkendali dan dicatat sebagai fungsi waktu atau suhu. Dengan demikian, data yang diperoleh dari eksperimen TGA ditampilkan sebagai kurva termal dengan tampilan ordinat memiliki unit berat atau berat persen (%) dan absis dalam satuan suhu atau waktu. Hasil dari analisis thermogravimetri analisis dapat disajikan oleh :

- a. massa dengan suhu atau waktu kurva, disebut sebagai Thermogravimetri kurva.
- b. tingkat kehilangan massa terhadap kurva temperatur, disebut sebagai *Derivatif Thermogravimetry (DTG)*.

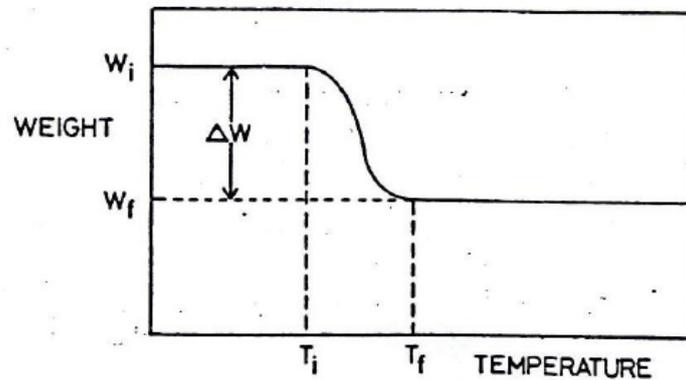
Metode TGA dapat dilakukan dalam lingkungan oksidasif (oksigen bercampur dengan gas inert) dan juga dapat digunakan dalam banyak kasus sebagai "*analisis komposisi*". Penentuan nilai abu atau residu abu juga termasuk dalam kategori pengujian TGA karena berat tersisa dibaca langsung sebagai berat sampel atau berat sampel persen (%). Instrumentasi yang berfungsi untuk mengukur laju penurunan massa pada sampel di dalam sebuah ruang bakar dengan *thermocontroller* disebut dengan *thermobalance*. Skema *thermobalance* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema instrument *thermobalance* (Vaimakis, 2012)

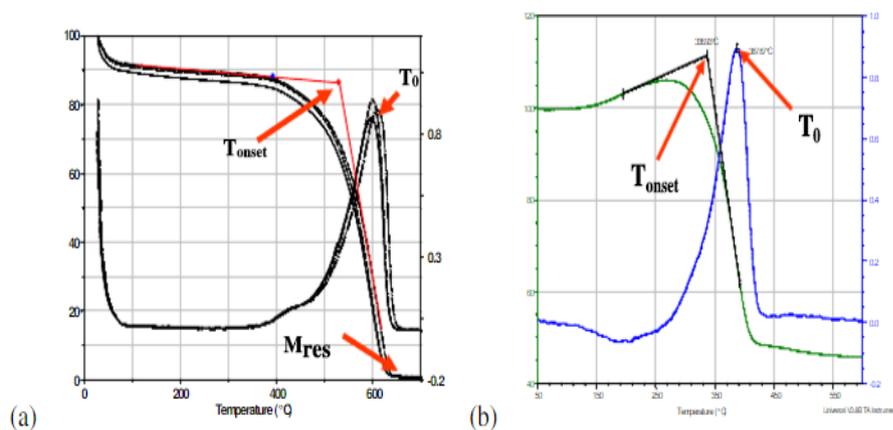
Teknik thermogravimetri berfungsi untuk mengukur perubahan berat dari suatu senyawa sebagai fungsi dari suhu ataupun waktu. Hasilnya biasanya berupa rekaman diagram yang kontinyu. Sampel yang digunakan dengan berat beberapa miligram dipanaskan pada laju konstan berkisar antara 1 – 20°C /menit dengan mempertahankan berat awalnya (W_i) sampai mulai terdekomposisi pada suhu T_i . Pada kondisi pemanasan dinamis, dekomposisi biasanya berlangsung pada range suhu tertentu ($T_i - T_f$) dan daerah konstan kedua teramati pada suhu diatas T_f yang berhubungan harga berat residu W_f . Berat W_i , W_f , dan ΔW adalah harga-harga yang sangat penting dan dapat digunakan pada perhitungan kuantitatif dari

perubahan komposisinya. Reaksi dekomposisi satu tahap yang skematik diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema termogram bagi reaksi dekomposisi satu tahap (Vaimakis, 2012)

Dari artikel *Practice Guide Section TGA* (Yizhengjin, 2011) diperoleh penjelasan bahwa pemilihan temperatur maksimum bertujuan untuk menstabilkan berat sampel pada akhir pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi kimia selesai atau karbon telah terbakar habis. Pendekatan ini memberikan 2 indikasi yaitu kadar abu atau massa residu (M_{res}) dan suhu oksidasi (T_0). Definisi keambiguan dari kadar abu (M_{res}) dan suhu oksidasi (T_0) dapat dilihat gambar 2.7.



Gambar 2.7 (a) Grafik TGA murni dan (b) grafik ilustrasi keambiguan penentuan T_{onset} (Yizhengjin, 2011)

Penentuan temperatur oksidasi dapat ditentukan dengan beberapa cara. Salah satu dengan penggunaan laju penurunan massa maksimum (dm/dT_{\max}) dan temperatur oksidasi saat massa mulai berkurang (T_{onset}). Temperatur laju penurunan massa maksimum menandakan bahwa pada temperatur tersebut oksidasi berlangsung secara maksimum dan temperatur saat massa mulai berkurang menandakan bahwa oksidasi dimulai. Ada dua alasan penggunaan model $T_0 = dm/dT_{\max}$ banyak diminati, pertama karena inisiasi laju penurunan massa berjalan secara bertahap (diatas temperatur $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) menjadikan sulit dalam menentukan T_{onset} secara tepat. Inisiasi yang bertahap dipercaya karena zat yang mengandung karbon teroksidasi pada temperatur lebih rendah dari bahan yang terdapat pada *nanotubes*. Kedua, laju penurunan massa akibat oksidasi karbon tertutup oleh kenaikan massa akibat katalisator oksidasi pada temperatur rendah.

Alasan kedua adalah pengurangan massa akibat oksidasi karbon yang kadang tertutupi oleh kenaikan massa akibat katalisator oksidasi pada temperatur rendah, pada beberapa kasus ha seperti ini menyebabkan kurva penurunan massa pada TGA berayun naik dan menyebabkan penentuan T_{onset} lebih sulit dan ambigu. Lain halnya dengan penentuan T_{onset} , penentuan dm/dT_{\max} lebih jelas, oleh sebab itu temperatur oksidasi didefinisikan dengan $T_0 = dm/dT_{\max}$.

2.2.9. Analisa Uji Proksimasi

Analisa proksimasi adalah analisa bahan bakar padat yang berasal dari bahan biomassa yang menghasilkan fraksi massa dari kadar air (*moisture content*), zat mudah menguap (*volatile matter*), kadar abu (*ash*) dan karbon tetap (*fixed carbon*) sesuai dengan standar ASTM D-1762-84.

a. Kadar air (*moisture content*)

Kadar air briket berpengaruh terhadap keterbakaran briket. Semakin tinggi kadar airnya maka suatu briket akan semakin sulit untuk terbakar, demikian juga sebaliknya. Kadar air dalam briket terdapat dalam dua bentuk, yaitu sebagai air bebas (*free water*) yang mengisi rongga pori-pori di dalam briket dan sebagai air terikat (*bound water*) yang terserap di permukaan ruang dalam struktur bahan bakar (Syamsiro dan Saptoadi,

2007). Prosedur perhitungan kadar air menggunakan standar ASTM D 1762-84 dengan persamaan 2.4.

- Kadar air (%) = $\frac{A-B}{A} \times 100\%$ (2.4)

Keterangan :

A = Berat sampel awal (gram)

B = Berat sampel setelah dikeringkan pada 105°C (gram)

b. Kadar zat mudah menguap (*volatile matter*)

Zat mudah menguap terdiri dari unsur hidrokarbon, metana, dan karbonmonoksida. Zat mudah menguap berpengaruh terhadap pembakaran briket, kandungan zat mudah menguap mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas api. Semakin banyak kandungan zat mudah menguap pada briket maka akan semakin mudah terbakar dan menyala (Subroto, 2007). Prosedur perhitungan kadar zat mudah menguap menggunakan standar ASTM D 1762-84 dengan persamaan 2.5.

- Kadar zat mudah menguap (%) = $\frac{B-C}{B} \times 100\%$ (2.5)

Keterangan :

B = Berat sampel setelah dikeringkan pada 105°C (gram)

C = Berat sampel setelah dibakar dalam tungku pada 950°C (gram)

c. Kadar abu (*ash*)

Abu merupakan bagian yang tersisa dari hasil pembakaran briket arang. Salah satu unsur kadar abu adalah silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Semakin rendah kadar abu maka semakin baik briket yang akan dihasilkan. Prosedur perhitungan kadar abu menggunakan standar ASTM D 1762-84 dengan persamaan 2.6.

- Kadar abu (%) : $\frac{D}{B} \times 100\%$ (2.6)

Keterangan :

D = Berat sampel setelah dibakar dalam tungku pada 750°C (gram)

B = Berat sampel setelah dikeringkan pada 105°C (gram)

d. Kadar karbon tetap (*fixed carbon*)

Karbon tetap (*fixed karbon*) adalah fraksi karbon (C) yang terikat di dalam arang selain fraksi air, zat menguap dan abu. Karbon tetap bergerak sebagai pembangkit utama panas selama pembakaran. Sehingga ketika kadar karbon tetap dalam briket besar maka nilai kalor pembakarannya akan naik. Prosedur perhitungan kadar karbon tetap menggunakan standar ASTM D 1762-84 dengan persamaan 2.7.

$$\bullet \text{ Kadar karbon tetap (\%)} = 100\% - (M + A + V) \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

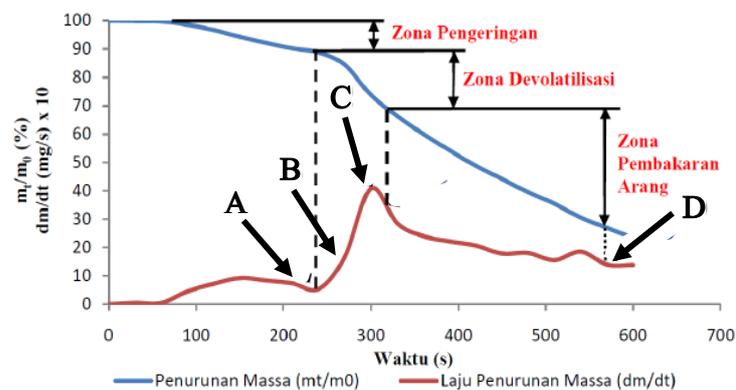
M = *Moisture* (kadar air)

A = *Ash* (kadar abu)

V = *Volatile matter* (kadar zat mudah menguap)

2.2.10. Analisa Karakteristik Biobriket

Dengan menggunakan metode analisis termogravimetri, dapat diketahui karakteristik pembakaran biobriket meliputi nilai-nilai ITVM (*Initiation Temperature of Volatile Matter*), ITFC (*Initiation Temperature of Fixed Carbon*), PT (*Peak of weight loss rate Temperature*) dan BT (*Burning out Temperature*). Metode ini dapat menggambarkan dan menunjukkan perbedaan karakteristik pembakaran dari suatu bahan bakar padat. Berikut adalah contoh grafik hasil pengujian pembakaran menggunakan metode termogravimetri yang merupakan tahapan proses pembakaran bahan bakar padat (Nadjib, 2015).



Gambar 2.8 Tahapan proses pembakaran bahan bakar padat (Nadjib, 2015)

Karakteristik pembakaran bahan bakar padat dapat didefinisikan melalui titik-titik berikut :

- a. titik A = ITVM (*Initiation Temperature of Volatile Matter*) adalah temperatur dimana volatile matter mulai keluar atau terlepas yang ditandai dengan penurunan massa yang meningkat. ITVM ditandai pada zona dimana temperatur sedikit turun kemudian meningkat tajam.
- b. titik B = ITFC (*Initiation Temperature of Fixed Carbon*) adalah temperatur dimana terjadi pengurangan massa terbesar yang ditandai dengan kenaikan temperatur secara tajam.
- c. titik C = PT (*Peak of weight loss Temperature*) adalah temperatur bahan bakar dimana laju pengurangan massa dari sampel mencapai nilai tertinggi yang ditandai dengan puncak dari kurva.
- d. titik D = BT (*Burning out Temperature*) adalah temperatur sampel dimana laju pengurangan massa berlangsung lambat dan cenderung stabil, yang ditandai dengan kurva yang sedikit mendatar atau konstan.

Nilai-nilai ITVM, ITFC, PT dan BT didapat dari hasil pembakaran briket menggunakan tungku pembakaran dengan metode thermogravimetri. Metode ini mencatat fungsi massa dan suhu yang kemudian di plotkan dalam bentuk grafik pembakaran. Dari grafik inilah kemudian dapat dianalisa penentuan nilai-nilai ITVM, ITFC, PT dan BT.

2.2.11. Nilai Kalor (*Heating value/calorific value*)

Nilai kalor adalah jumlah energi yang terkandung di dalam bahan bakar setiap satuan massa bahan bakar (Btu/lb) atau (Cal/g). Nilai kalor dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah jenis bahan bakar dan berat jenis bahan bakar. Semakin tinggi berat jenis bahan bakar maka makin rendah nilai kalor yang dihasilkan (Koesoemadinata, 1980). Alat yang digunakan untuk mengukur nilai kalor adalah *Bomb Calorimeter*. Prinsip kerja *Bomb Calorimeter* adalah dengan menentukan panas yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar dan oksigen pada volume tetap. Terdapat dua jenis nilai kalor pada suatu bahan bakar padat termasuk biomassa, yaitu (Patabang, 2009) :

- a. *Highest Heating Value* (HHV), yaitu nilai kalor atas dan dapat didefinisikan sebagai panas yang dilepaskan dari pembakaran sejumlah kuantitas unit bahan bakar (massa). Nilai kalor HHV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8.

$$\text{Nilai kalor HHV (Cal/g)} = \frac{[(\Delta t) \times \text{EEV}] - (e_1 + e_2)}{\text{massa}} - e_s \dots (2.8)$$

Dimana : ΔT = Selisih suhu pembakaran ($^{\circ}\text{C}$)

EEV = Energi ekivalen saat terjadi pembakaran (Cal/ $^{\circ}\text{C}$)

e_1 = Koreksi panas dari pembentukan asam (Cal)

e_2 = Koreksi panas dari kawat pembakar (Cal)

e_s = Koreksi sulfur dalam bahan bakar (Cal/g)

m = Berat contoh (g)

- b. *Lower Heating Value* (LHV), yaitu nilai kalor bawah. Nilai kalor bawah ditentukan pada saat H_2O pada produk pembakaran berbentuk gas. Nilai kalor LHV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.9.

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 1030 (\text{H}_2 \times 8.94) \text{ (Btu/lb)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana : HHV = Nilai kalor atas (Btu/lb)

H_2 = Persentase massa hidrogen (%)

2.2.12. Energi aktivasi (E_a)

Definisi energi aktivasi adalah energi yang harus dilampaui agar reaksi kimia (pembakaran) dapat terjadi. Energi aktivasi juga dapat diartikan energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia (pembakaran) dapat terjadi. Energi aktivasi dapat dianggap sebagai penghalang potensial yang memisahkan energi potensial reaktan dan produk dari reaksi. Untuk melangsungkan reaksi, setidaknya harus ada energi yang sama atau lebih besar dari energi aktivasi.

Arrhenius (1859-1927) menyatakan bahwa hanya molekul memiliki energi yang lebih besar dari energi aktivasi yang akan bereaksi, adanya energi yang tinggi maka molekul aktif dapat diproduksi. Energi aktivasi dapat diketahui dari persamaan 2.10.

$$\frac{dx}{dt} = -A e^{-\left(\frac{E}{RT}\right)} X^n \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan X adalah berat dari sampel yang bereaksi, t adalah waktu (menit), A adalah pra-exponensial atau faktor frekuensi (menit^{-1}), E adalah energi aktivasi dari dekomposisi (kJ/mol), R adalah konstanta gas universal (kJ/mol.K), T adalah temperatur absolut (K), dan n adalah orde reaksi (-).

Perhitungan energi aktivasi pada pembakaran bahan bakar padat juga dapat menggunakan persamaan Arrhenius 2.11.

$$k = -A e^{-\left(\frac{E}{RT}\right)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

K : konstanta laju reaksi

A : faktor pra-exponensial (faktor frekuensi)

Ea : energi aktivasi (kJ/mol)

R : konstanta gas universal (kJ/mol.K)

T : temperatur (K)

Secara matematis persamaan Arrhenius di atas dapat diturunkan dengan Ln sehingga menjadi persamaan 2.12.

$$\ln k = \ln A - \left(\frac{E}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana $y = m \cdot x$

$$y = \ln k \text{ dan } x = \frac{1}{T}$$

Sehingga diperoleh persamaan 2.13.

$$y = \left(-\frac{E}{R} X\right) + c \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan memasukkan grafik antara ln k dengan 1/T dari data eksperimen akan didapat harga energi aktivasi, dimana kemiringan (*slope*) *trendline* linier yang terbentuk adalah -Ea/R dan dikalikan dengan konstanta gas universal (R).