

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Onchieku, *et al* (2012) melakukan penelitian mengenai pemanfaatan briket limbah ampas tebu (*bagasse*) yang ketersediaannya melimpah di Kenya. Dalam penelitian ini briket diformulasikan dengan menggunakan ampas tebu yang telah dikarbonisasi dengan tetes tebu sebagai bahan perekatnya. Karbonisasi ampas tebu dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran berupa susunan bata sementara pencampuran menggunakan drum mixer yang dioperasikan secara manual. Pembriketan menggunakan tekanan 0,5 MPa. Briket yang dihasilkan dibakar tanpa percikan api dan tanpa asap, serta tidak menghasilkan bau yang menyengat. Pada formulasi ini pembakaran briket ampas tebu menghasilkan 36,4 % kadar abu, 27,2 % *volatile matter* dan 4,390 Kca/g energi kalor. Penyalaan briket juga dilakukan dengan mudah dan tidak memerlukan waktu yang relatif lama sehingga direkomendasikan penggunaannya untuk keperluan rumah tangga di Kenya.

Meng, *et al* (2013) melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik pembakaran dan pirolisis gangue batubara yang biasa digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik di China. Gangue batubara telah diteliti dibawah kondisi *oxy-fuel* dan dibawah udara menggunakan *Drop Tube Furnace* (DTF) serta *Thermogravimetry Analysis* (TGA). Percobaan pirolisis dilakukan pada N₂ dan CO₂ lingkungan yang merupakan gas pengencer utama *oxy-fuel* dan udara. Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan bahwa reaktivitas gangue batubara dalam kondisi *oxy-fuel* berbeda dari yang dibawah udara. Tingkat pembakaran gangue batubara meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi O₂ sedangkan pengapian dan titik *burnout* bergeser ke temperatur yang lebih rendah dan pembakaran yang sempurna dicapai pada temperatur yang lebih rendah dan memiliki waktu yang lebih pendek.

Subroto, *et al* (2007) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan pembriketan terhadap karakteristik mekanik dan karakteristik pembakaran briket kokas dengan perekat (*binder*) berupa aspal seberat 30% dari berat kokas. Variasi tekanan pembriketan yang digunakan adalah 100 kg/cm², 150 kg/cm², 200 kg/cm² dan 250 kg/cm². Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan, bahwa semakin tinggi tekanan pembriketan yang digunakan maka akan menaikkan kekuatan mekanik dari briket kokas tersebut karena penekanan yang besar mengakibatkan *bulk density* dari briket semakin bertambah besar, namun kenaikan ini akan mencapai titik maksimalnya pada tekanan 150 kg/cm² yaitu sebesar 18,939 kg/cm³ karena penambahan penekanan lebih dari itu akan merusak struktur bahan dasar yang mengakibatkan nilai kekuatan mekanik turun. Sementara pada uji pembakarannya didapatkan bahwa waktu pembakaran terlalu lama juga terdapat pada briket kokas dengan penekanan 150 kg/cm² yaitu selama 53 menit.

Syamsiro (2007) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh temperatur udara preheat terhadap karakteristik pembakaran briket biomassa cangkang kakao melalui metode kajian eksperimental. Sesuai dengan teori pembakaran biomassa yang melalui tiga tahapan. Pertama tahap pengeringan yang ditunjukkan dengan pengurangan massa yang lambat. Tahap kedua devolatilisasi yang ditunjukkan dengan pengurangan massa yang sangat cepat dan tahap ketiga pembakaran arang dengan pengurangan massa yang kembali menjadi lambat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur gas pembakaran akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur udara preheat, kenaikan temperatur udara preheat juga mengakibatkan kenaikan laju pembakaran dan emisi CO mengalami sedikit penurunan seiring dengan kenaikan temperatur udara preheat.

Mulyati, *et al* (2012) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pencampuran abu ampas tebu dan produk pembakaran serbuk gergaji yang telah digiling halus dengan kekuatan mortar. Kedua bahan dicampur pada saat pencetakan mortar pasir sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% massa. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan densitas

dan penurunan porositas dan penyerapan air seiring dengan bertambahnya variasi campuran terhadap abu ampas tebu dan pembakaran produk serbuk gergaji hingga mencapai hasil yang optimal. Hasil optimum pencampuran abu ampas tebu adalah dalam campuran ini variasi 15%, sedangkan hasil yang optimal dari produk pembakaran serbuk gergaji adalah dalam campuran variasi 10 %.

Shiami dan Mitarlis (2014) melakukan penelitian untuk mengetahui sifat fisik dan sifat kimia briket campuran blotong dan limbah padat proses sintesis furfural berbahan dasar ampas tebu dengan perbandingan 10:40, 20:30, 25:25, 30:20 dan 40:10 dalam total 50 gram bahan menggunakan perekat (*binder*) berupa tepung tapioka dengan variasi perbandingan perekat dan campuran bahan 3:10, 5:10 dan 7:10. Briket yang dihasilkan dikarakterisasi sifat fisik dan kimianya meliputi kadar air, kerapatan briket, kadar abu, laju pembakaran, dan nilai kalor. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa briket yang dihasilkan belum memenuhi standar mutu briket SNI 01-6235-2000 dengan sifat fisik yaitu kadar air berkisar antara 6,69–16,99% dengan kerapatan berkisar 0,7822–0,9526 g/cm³, sifat kimia yaitu kadar abu antara 19,89–34,46%, antara laju pembakaran 0,60–0,81 g/min, dan nilai kalor antara 2715,00–3242,57 kkal/kg.

Irwan (2015) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan terhadap karakteristik pembakaran briket dengan metode *Thermogravimetry Analysis* (TGA) berbahan baku limbah industri kelapa sawit dengan bahan perekat (*binder*) berupa kanji dengan presentase perekat sebesar 10%. Campuran serbuk limbah dan perekat tersebut lalu dibriket dengan variasi tekanan pengepresan 200 kg/cm², 250 kg/cm² dan 300 kg/cm². Berdasarkan hasil pengujian tersebut maka dapat diketahui, semakin besar tekanan pembriketan maka briket akan susah untuk terbakar. Hal tersebut dikarenakan tekanan pembriketan yang semakin besar membuat tingkat kerapatan dan kepadatan pada briket semakin tinggi sehingga akan mempersulit proses oksidasi dan juga energi aktivasi dari briket tersebut semakin besar. Tekanan pembriketan yang semakin besar juga akan menurunkan kandungan air dan akan menaikkan kandungan *fixed carbon* sehingga

mengakibatkan nilai ITVM, ITFC, PT dan BT semakin tinggi yang membuat briket akan lama terbakar.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Biomassa

Biomassa adalah salah satu energi terbarukan yang bersumber dari alam yang sifatnya dapat diperbaharui. Biomassa merujuk pada bahan biologis yang hidup atau baru mati yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar. Biomassa dapat mencakup materi tumbuhan atau hewan yang digunakan untuk produksi serat, bahan kimia, atau panas. Biomassa biasanya diukur dengan berat kering meliputi limbah terbiodegradasi yang dapat dibakar sebagai bahan bakar. Biomassa tidak mencakup materi organik yang telah tertransformasi oleh proses geologis menjadi zat seperti minyak bumi atau batu bara.

Energi biomassa muncul berdasarkan adanya siklus karbon yang ada di bumi yang mana semua unsur kehidupan seperti tumbuhan, hewan hingga manusia memiliki unsur karbon yang dibutuhkan untuk membuat bahan bakar sebagai sumber energi. Unsur karbon tersebut pada dasarnya akan terus berputar selama unsur kehidupan tersebut masih ada, untuk itulah biomassa merupakan salah satu energi yang dapat diperbaharui. Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar pada umumnya berbahan dasar limbah yang telah diambil produk primernya yang nilai ekonomisnya rendah. Limbah tersebut dapat didapat dari mana saja, seperti limbah sisa pengolahan tanaman ataupun hasil panen secara langsung, limbah dari kotoran peternakan, limbah padat kota, limbah industri dan lain sebagainya (Benergi, 2016).



Gambar 2.1. Sumber Biomassa (Benergi, 2016)

Biomassa yang memiliki fungsi sebagai penyedia karbon untuk energi tersebut dinilai sebagai salah satu energi yang bersifat ramah lingkungan karena menggunakan teknologi yang modern dalam pengkonversiannya sehingga dapat menjaga emisi pada tingkat yang rendah. Penggunaan energi biomassa juga dapat mendorong percepatan rehabilitasi lahan yang terdegradasi dan perlindungan tata air. Sifat biomassa yang dapat diperbaharui itu juga sekaligus berperan dalam konservasi keanekaragaman hayati (Sarah, 2016).

Indonesia sebagai negara agraris yang memiliki hasil alam yang beragam tentunya menyimpan potensi sumber biomassa yang sangat besar dan melimpah. Sumber biomassa itu berasal dari limbah hasil hutan, limbah pengolahan hasil pertanian maupun perkebunan, limbah peternakan, dan lain sebagainya yang semuanya itu sangatlah berpotensi untuk dikembangkan. Diperkirakan sebanyak 49.810 MW potensi sumber biomassa dimiliki Indonesia yang berasal dari limbah-limbah tersebut. Namun potensi limbah-limbah ini belum dimanfaatkan dengan baik (ESDM, 2008).

2.2.2. Limbah Industri Gula

Tebu (*Saccharum officinarum L*) adalah tanaman untuk bahan baku gula yang merupakan salah satu jenis tanaman yang hanya dapat ditanam didaerah yang beriklim tropis. Tebu-tebu yang ditanam di perkebunan ini untuk kemudian diolah menjadi gula di pabrik-pabrik gula (PG). Dalam proses produksi di pabrik gula tersebut, gula yang dimanfaatkan hanya sekitar 5% dari setiap tebu yang diproses. Sebanyak 35 – 40% nya menghasilkan ampas tebu (*bagasse*), dan sisanya berupa tetes tebu (*molase*), blotong dan air (Misran, 2005).

Tabel 2.1 Komponen-komponen yang terdapat didalam batang tebu

(Misran, 2005)

Komponen	Jumlah (%)
Monosakarida	0,5 ~ 1,5
Sukrosa	11 ~ 19
Zat-zat organik	0,5 ~ 1,5
Zat-zat anorganik	0,15
Sabut	11 ~ 19
Air	65 ~ 75
Bahan lain	12

Selama ini tebu hanya terfokus pada pemanfaatan hasil primernya saja yaitu gula. Sementara hasil samping lainnya kurang begitu dimanfaatkan, kecuali tetes tebu (*molase*) yang telah dimanfaatkan untuk pembuatan etanol dan juga bahan pembuatan *monosodium glutamate* (MSG) yang kita kenal sebagai salah satu bahan untuk membuat bumbu masakan (Misran, 2005). Sedangkan untuk ampas tebu (*bagasse*) itu sendiri masih menjadi sebuah limbah industri gula yang belum dimanfaatkan dengan baik. Padahal ampas tebu (*bagasse*) mempunyai presentase yang cukup besar sehingga ketersediaannya sangat melimpah.



Gambar 2.2 Ampas tebu (*bagasse*)

Ampas tebu (*bagasse*) adalah sisa dari proses penggilingan dari tanaman tebu yang telah diambil niranya. Ampas tebu (*bagasse*) merupakan limbah selulosik yang banyak sekali potensi pemanfaatannya. Kadar selulosa dari ampas tebu (*bagasse*) adalah 46,07 % (Tarmidi, 2004). Sedangkan untuk nilai kalornya sendiri, ampas tebu (*bagasse*) memiliki nilai kalor 3683,68 – 4520,88 kJ/kg. Untuk kadar asap adalah 36,91 – 30,15 % dan kadar abu adalah 8,05 – 6,10 % (Elfiano *et al*, 2014). Dengan nilai kalor tersebut, limbah ampas tebu (*bagasse*) dapat dimanfaatkan untuk membuat bahan bakar padat berupa biobriket.

2.2.3. Pembriketan

Pada umumnya biomassa memiliki densitas yang rendah, untuk menaikkan densitas tersebut maka dilakukanlah pembriketan untuk menghadapi persoalan penanganannya seperti pengangkutan dan penyimpanan. Pembriketan adalah sebuah proses pembuatan bahan bakar padat briket dengan cara mengepres bahan baku briket dengan alat pengepres briket dengan tujuan menaikkan densitas biomassa yang rendah menjadi nilai densitas biomassa yang lebih tinggi. Pembriketan suatu bahan bakar padat biomassa dapat dikatakan sebagai proses desifikasi yang bertujuan untuk memperbaiki karakteristik bahan bakar biomassa (Irwan, 2015).

Teknik pembriketan dapat dibagi menjadi 3 kelompok yang dikategorikan berdasarkan pada besarnya tekanan (Grover dan Misha, 1996), yaitu :

- a. Pembriketan tekanan tinggi ($1000 - 2500 \text{ kg/cm}^2$).
- b. Pembriketan tekanan medium ($500 - 1000 \text{ kg/cm}^2$) dengan pemanasan.
- c. Pembriketan tekanan rendah ($250 - 500 \text{ kg/cm}^2$) dengan bahan pengikat.

Proses pembriketan juga akan berpengaruh pada ukuran pori-pori briket yang mana akan berpengaruh pula pada densitas briket. Menurut Sudiro dan Suroto (2014) ukuran partikel briket sangat mempengaruhi nilai densitas briket, karena semakin besar ukuran partikel briket menyebabkan ukuran pori-pori semakin besar pula. Ukuran pori-pori briket yang semakin besar menyebabkan briket akan lebih banyak menyimpan air namun karena proses pengeringan pori-pori yang terisi air akan terisi oleh udara akibat proses pengeringan tersebut, sehingga berat briket akan semakin ringan. Jika berat briket semakin ringan dengan volume tetap maka densitasnya semakin kecil, karena densitas dipengaruhi oleh berat briket per-volume briket pada saat proses pembriketan.

2.2.4. Bahan Pengikat (*binder*)

Pada proses pembriketan dengan kategori tekanan rendah, maka dibutuhkan bahan pengikat (*binder*) untuk membantu pembentukan ikatan antar partikel biomassa. Selain itu, penambahan bahan pengikat (*binder*) ini juga untuk meningkatkan kekuatan briket. Dalam berbagai penelitian yang telah dilakukan, banyak sekali bahan pengikat (*binder*) yang dapat digunakan, seperti tepung kanji, tar, tetes tebu (*molase*), resin, *sulphite*, dan lain sebagainya. Menurut Syafiq (2009) beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bahan pengikat (*binder*) untuk briket adalah sebagai berikut :

- a. Kesesuaian antara bahan pengikat (*binder*) dengan bahan yang akan diikat
- b. Kemampuan bahan pengikat (*binder*) untuk mengikat sifat-sifat briket
- c. Kemudahan dalam memperoleh bahannya.

2.2.5. Pembakaran

Pembakaran merupakan suatu reaksi kimia antara bahan bakar dengan suatu oksidan yang disertai produksi panas (terkadang disertai cahaya) dalam bentuk api. Bahan bakar kebanyakan mengandung unsur Karbon (C), Belerang (S) dan Hidrogen (H). Oksigen (O₂) juga merupakan salah satu hal yang terpenting dari sebuah pembakaran, karena pasokan Oksigen yang cukup menjadi faktor terpenting dari sempurnanya pembakaran. Ada dua tipe pembakaran, yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna. Pada pembakaran sempurna reaktan akan terbakar oleh oksigen dan menghasilkan beberapa produk, seperti unsur karbon (C) yang bereaksi dengan oksigen (O₂) hanya akan menghasilkan karbon dioksida (CO₂) begitu pula terjadi pada unsur S yang menjadi SO₂ dan H yang menjadi H₂O. Sedangkan pada pembakaran tidak sempurna terjadi apabila pasokan oksigen (O₂) tidak mencukupi untuk terjadinya proses pembakaran akibatnya unsur karbon (C) yang terkandung didalam bahan bakar ketika bereaksi dengan oksigen (O₂) maka akan menghasilkan gas yang tidak seluruhnya mengandung karbon dioksida (CO₂) (Teknik Pertanian, 2014).

2.2.6. Pembakaran Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat karbon paling banyak digunakan dalam proses pembakaran. Bahan bakar padat karbon adalah koleksi polimer organik kompleks yang terdiri dari rantai aromatik yang dikombinasikan dengan hidrokarbon dan atom lain seperti oksigen, nitrogen, sulfur, kalium dan natrium (Santos, 2004). Bahan bakar padat karbon dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori utama, yaitu batubara, biomassa dan lainnya. Proses pembakaran bahan bakar padat sendiri melewati tiga tahapan, yaitu pengeringan, devolatilisasi dan pembakaran arang, serta sisa pembakarannya berupa abu (*ash*) (Borman dan Ragland, 1998).

Mekanisme pembakaran bahan bakar padat dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pengeringan (*drying*)

Moisture dalam bahan bakar padat dapat berupa air bebas (*free water*) berada didalam pori-pori bahan bakar dan sebagai air terikat (*bound water*)

yang terserap sampai permukaan bagian dalam struktur bahan bakar. Bila partikel bahan bakar dipanaskan, maka akan terjadi konveksi dan radiasi ke permukaan partikel bahan bakar akan menguap dan keluar dari partikel.

Waktu pengeringan untuk butiran partikel kecil dari bahan bakar padat adalah waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan partikel sampai energi pada suatu partikel kecil menyatakan bahwa laju waktu perubahan energi didalam waktu sama dengan laju pemanasan untuk menguapkan air ditambah laju transfer kalor menuju partikel melalui proses konveksi dan radiasi (Borman dan Ragland, 1998).

2. Devolatilisasi

Setelah pengeringan partikel bahan bakar padat selesai serta temperatur yang terus meningkat, maka bahan bakar padat akan mengalami dekomposisi, yaitu pecahnya ikatan kimia secara termal dan *volatile matter* keluar dari partikel. Pada tahap ini dengan semakin meningkatnya temperatur maka zat *volatile* kemudian mengalir keluar melalui pori-pori sehingga akan menghambat aliran oksigen dari luar untuk masuk dalam butiran bahan bakar. Hal inilah yang membuat tahap ini juga disebut *pyrolysis*. Laju devolatilisasi dan produksi hasil *pyrolysis* akan tergantung kepada temperatur dan jenis bahan bakar. Produk *pyrolysis* ini akan menyala dan membentuk api yang menempel pada butiran sehingga terjadi peningkatan devolatilisasi. Laju devolatilisasi akan mempengaruhi stabilitas penyalaan.

Reaksi kimia tunggal mengubah bahan bakar padat menjadi hasil pirolisis, laju devolatilisasi bahan bakar padat tergantung dari kadar *volatile* dalam bahan bakar, jenis bahan bakar dan temperturnya. Untuk partikel yang lebih besar proses pirolisis terjadi berangsur-angsur dari bagian luar partikel ke bagian dalam. Nyala bahan bakar padat terjadi di permukaan bahan bakar atau pembakaran *volatile matter* pada lapisan batas sekitar partikel. *Volatile matter* akan terbakar lebih dahulu daripada *char* apabila laju pemanasan permukaan partikel rendah.

3. Pembakaran arang (*char combustion*)

Tahapan terakhir dari proses pembakaran bahan bakar padat adalah pembakaran arang. Pada saat devolatilisasi selesai akan tersisa karbon dan abu. Arang bersifat sangat porous sehingga oksigen dapat terdifusi ke dalam partikel arang. Laju pembakaran arang tergantung pada konsentrasi oksigen, temperatur gas, bilangan reynolds, ukuran dan porositas arang. Arang mempunyai porositas yang tinggi. Porositas arang kayu berkisar 0,9 (Borman dan Ragland, 1998).

Reaksi pada permukaan char menghasilkan produk utama berupa CO, dimana CO yang terlepas akan berikatan dengan oksigen membentuk CO₂. Reaksi pada permukaan akan menyebabkan temperatur meningkat 100 – 200 °C diatas temperatur gas luar. Arang akan bereaksi dengan oksigen pada permukaan membentuk karbon monoksida dan karbon dioksida, tetapi secara umum karbon monoksida merupakan produk utama dinyatakan pada persamaan 2.1 berikut ini :



Dimana permukaan karbon juga bereaksi dengan karbon dioksida dan uap air dengan reaksi reduksi dinyatakan pada persamaan 2.2 dan 2.3 berikut ini :



Reaksi reduksi (b) dan (c) secara umum lebih lambat daripada reaksi oksidasi (a), dan untuk pembakaran biasanya hanya reaksi (a) yang diperlukan.

2.2.7. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat

Berikut beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat biobriket (Pangrib, 2014), yaitu :

1. Jenis bahan bakar

Setiap bahan bakar memiliki karakteristik yang berbeda, perbedaan karakteristik bahan bakar tersebut dari kandungan *moisture* dan kandungan *volatile matter*. Dimana bahan bakar yang semakin banyak memiliki

kandungan *volatile matter* maka semakin cepat pula bahan bakar tersebut menyala dan terbakar.

2. Ukuran partikel

Semakin kecil ukuran partikel maka semakin luas penampang permukaan bahan bakar tersebut maka semakin cepat pula bahan bakar tersebut terbakar.

3. Kecepatan aliran udara

Terus meningkatnya kecepatan udara akan menimbulkan tekanan aliran dan jumlah oksigen yang meningkat, sehingga laju pembakaran bahan bakar akan naik yang bersamaan dengan naiknya temperatur.

4. Temperatur udara pembakaran

Semakin tinggi temperatur udara dalam pembakaran mengakibatkan bahan bakar akan semakin cepat terbakar sehingga semakin singkat waktu yang dibutuhkan dalam proses pembakaran.

2.2.8. Pengujian Proksimat

Pengujian proksimat adalah salah satu teknik analisis yang dapat dilakukan untuk mengetahui karakteristik biobriket. Analisis proksimat adalah analisis bahan bakar padat biomassa yang menghasilkan fraksi massa dari kadar air (*moisture content*), zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*), kadar karbon terikat (*fixed carbon*) dan kadar abu (*ash*). Pengujian proksimat menggunakan standar pengujian ASTM D1762-84 tahun 2007.

1. Kadar air (*moisture content*)

Kadar air biobriket adalah kandungan air (H_2O) yang terkandung dalam suatu bahan bakar padat dan merupakan perbandingan massa kandungan air dalam biobriket dengan massa kering tanur pada temperatur 100 - 105°C. Kadar air biobriket sangat mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan. Tingginya kandungan kadar air pada biobriket dapat menyebabkan penurunan nilai kalor. Hal ini disebabkan karena panas yang digunakan untuk melakukan pembakaran digunakan untuk mengeluarkan kandungan

air terlebih dahulu. Besarnya kadar air dapat dirumuskan pada persamaan 2.4 berikut ini :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan :

A = Massa sampel awal

B = Massa sampel setelah dikeringkan pada 105°C

Banyaknya kandungan air pada suatu bahan bakar padat dapat menyebabkan penurunan mutu bahan bakar karena :

- a. Menurunkan nilai bakar karena memerlukan sejumlah panas untuk penguapan.
- b. Menurunkan titik nyala bahan bakar padat.
- c. Memperlambat proses pembakaran bahan bakar padat.
- d. Menambah volume gas buang dan menimbulkan asap.

Kadar air (*moisture content*) yang terkandung dalam bahan bakar padat biobriket dapat dinyatakan dalam dua macam : (a) *Free moisture* (uap air bebas), adalah uap air yang terkandung pada permukaan biobriket dan dapat menguap ketika dilakukan penjemuran. (b) *Inherent moisture* (uap air terikat), adalah uap air yang terkandung dalam bahan bakar padat dan dapat ditentukan dengan memanaskan briket antara temperatur 100 – 105°C selama kurang lebih 2 jam.

2. Zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*)

Zat-zat mudah menguap (*volatile matter*) adalah salah satu zat yang keluar dari suatu bahan bakar padat yang dibakar selain air yang menjadi uap. Semakin banyak kandungan *volatile matter* pada bahan bakar padat maka akan semakin mudah terbakar dan menyala, sehingga laju pembakaran semakin cepat. Kandungan gas-gas yang mudah terbakar seperti Hidrogen (H), karbon monoksida (CO), dan metana (CH₄), tetapi kadang-kadang terdapat juga gas-gas yang tidak terbakar seperti CO₂ dan H₂O. Banyaknya

kadar *volatile matter* pada proses pembakaran akan menyebabkan penyalaan yang panjang dan menghasilkan banyak asap. Sedangkan kadar *volatile matter* yang rendah akan menghasilkan asap yang sedikit, yaitu berkisar antara 15 – 25%. Biobriket dipanaskan hingga temperatur 950°C selama kurang lebih 4 jam. Perhitungan kadar *volatile matter* dapat dirumuskan pada persamaan 2.5 berikut ini :

$$\text{Volatile Matter (\%)} = \left(\frac{B-C}{B} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana :

B = Massa sampel setelah dikeringkan pada 105°C

C = Massa sampel setelah dikeringkan pada 950°C

3. Kadar abu (*ash*)

Kadar abu (*ash*) adalah kadar zat yang tersisa setelah proses pembakaran yang tidak akan terbakar. Kadar abu sebanding dengan kandungan bahan anorganik di dalam suatu bahan bakar padat. Abu terdiri dari bahan mineral seperti Silika (SiO₂), Kalsium (Ca), serta Magnesium Oksida (MgO) dan lain-lain. Banyaknya kandungan Silika dapat menyebabkan penurunan kandungan kualitas nilai kalor yang dihasilkan. Biobriket dipanaskan hingga temperatur 750°C selama kurang lebih 6 jam. Untuk menghitung kadar abu dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.6 berikut ini :

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \left(\frac{D}{B} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

D = Massa sampel sisa

B = Massa sampel setelah dikeringkan pada 105°C

Penggunaan jenis bahan baku tertentu dapat mempengaruhi tinggi rendahnya kadar abu yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan bahan baku yang digunakan memiliki komposisi kimia dan jumlah mineral yang berbeda-beda, sehingga mengakibatkan kadar abu briket arang yang dihasilkan juga berbeda.

4. Karbon terikat (*Fixed carbon*)

Kadar karbon terikat (*Fixed Carbon*) adalah komponen utama yang digunakan dalam proses pembakaran. Kadar karbon tidak menimbulkan gas ketika dibakar, oleh karena itu sering juga disebut dengan karbon tetap. Untuk mengetahui kadar karbon (*Fixed carbon*) adalah dengan melakukan perhitungan yang dinyatakan pada persamaan 2.7 berikut ini :

$$\text{Kadar } \textit{Fixed Carbon} (\%) = 100 - (\textit{moisture} + \textit{volatile matter} + \textit{ash}) \dots\dots(2.7)$$

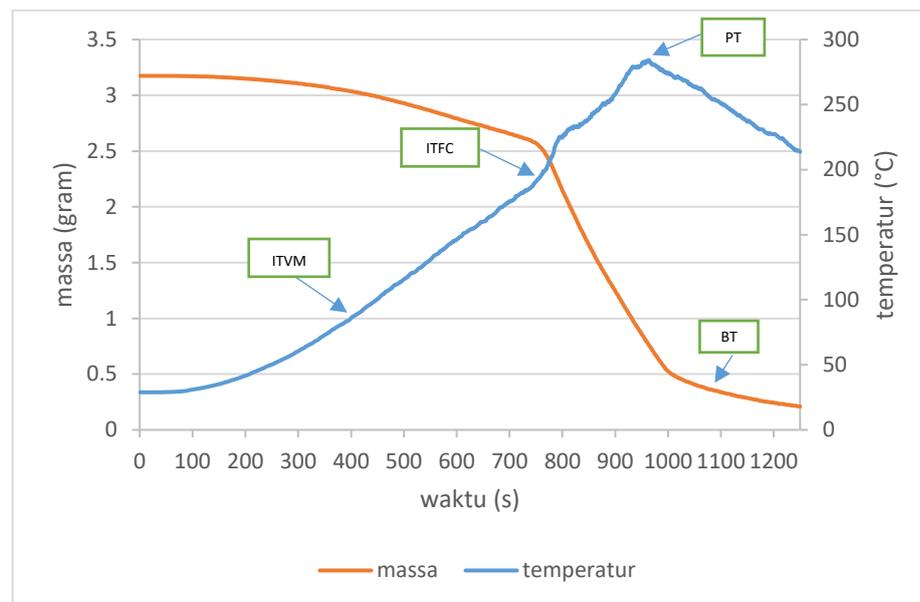
2.2.9. Nilai Kalor

Nilai kalor bahan bakar adalah besarnya panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar padat. Nilai kalor terdiri dari *Gross Heating Value* (GHV) atau nilai kalor atas dan *Nett Heating Value* (NHV) atau nilai kalor bawah. Nilai kalor atas atau *Higher Heating Value* (HHV) adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar padat atau cair, atau satu satuan volume bahan bakar gas, pada tekanan tetap. Nilai bakar bawah atau *Nett Heating Value* (NHV) atau *Lower Heating Value* (LHV) adalah panas yang besarnya sama dengan nilai panas atas dikurangi panas yang diperlukan oleh air yang terkandung dalam bahan bakar dan air yang terbentuk dari pembakaran bahan bakar.

2.2.10. *Thermogravimetry Analysis* (TGA)

Thermogravimetry merupakan suatu teknik untuk menganalisis perhitungan stabilitas termal suatu bahan bakar dan fraksi komponen zat volatilnya dengan memonitor perubahan massa selama spesimen diberi perlakuan panas (Ahmad,

2010). Analisis *thermogravimetry* dilakukan dalam lingkungan atmosfer oksidatif (udara atau oksigen dan campuran gas *inert*). Sebuah instrumen yang mengukur penurunan massa pada *biofuel* didalam sebuah *furnace* dengan *thermocontroller* disebut *thermobalance*.



Gambar 2.3 Grafik karakteristik pembakaran dengan *Thermogravimetry Analysis*

Pada gambar grafik karakteristik pembakaran dengan *Thermogravimetry Analysis* (TGA) diatas, terdapat empat penentuan titik pada setiap proses yang dinyatakan sebagai berikut :

1. *Initiation Temperature of Volatile Matter* (ITVM) adalah temperatur bahan bakar dimana laju pengurangan massa sampel mulai mengalami peningkatan. Pada kurva laju pengurangan massa, ITVM ditandai pada zona dimana laju pengurangan massa sedikit turun kemudian meningkat dengan cepat.
2. *Initiation Temperature of Fixed Carbon* (ITFC) merupakan temperatur bahan bakar dimana laju pengurangan massa mulai meningkat dengan sangat cepat sebagai akibat mulai terjadinya pembakaran.

3. *Peak of weight rate Temperature* (PT) merupakan temperatur bahan bakar dimana laju pengurangan massa dari sampel mencapai nilai tertinggi yang ditandai sebagai puncak dari kurva.
4. *Burning out Temperature* (BT) adalah bahan bakar dimana laju pengurangan massa berlangsung sangat lambat dan cenderung stabil, yang ditandai dengan kurva yang sedikit mendatar karena pembakaran telah selesai.

Temperatur akhir ditentukan hingga massa bahan stabil yang secara tidak langsung menunjukkan bahwa reaksi sudah selesai secara keseluruhan (dalam hal pembakaran dapat diprediksi bahwa seluruh karbon telah terbakar). Pendekatan ini akan menghasilkan dua informasi penting, kadar abu (M_{res}) yang ditunjukkan oleh massa sisa dan temperatur oksidasi (T_o).

Penentuan temperatur oksidasi dapat diperoleh dari beberapa cara, antara lain temperatur dimana laju pengurangan massa maksimal (dm/dT_{max}) dan *temperatur ketika massa mulai berkurang* (T_{onset}). *Temperatur dimana laju pengurangan massa maksimal* menunjukkan bahwa pada temperatur tersebut oksidasi berlangsung secara maksimal sedangkan temperatur ketika massa mulai berkurang menunjukkan bahwa pada temperatur tersebut proses oksidasi dimulai. Penggunaan definisi pertama $T_o = dm/dT_{max}$ lebih disukai dengan dua alasan. Alasan pertama berkaitan dengan permulaan penurunan massa yang bertahap (biasanya diatas temperatur 100°C) membuat sulitnya menentukan T_{onset} secara tepat. Permulaan yang bertahap diyakini karena *nanotubes* terkontaminasi oleh *amorphous* karbon atau zat yang mengandung karbon yang teroksidasi pada temperatur yang lebih rendah dari bahan yang terdapat pada *nanotubes*. Pada kasus ini T_{onset} cenderung menampilkan sifat ketidakmurnian tersebut daripada bahan yang terdapat pada *nanotubes*. Alasan kedua adalah pengurangan massa akibat oksidasi karbon kadang tertutupi oleh kenaikan massa akibat katalisator oksidasi pada temperatur rendah, pada beberapa kasus hal 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 $T_o = dm/dT_{\text{max}}$.

2.2.11. Energi Aktivasi

Energi aktivasi adalah energi yang dibutuhkan sehingga reaksi dapat terjadi. Energi aktivasi dibutuhkan untuk menggerakkan energi reaktan sehingga reaksi dapat dimulai. Energi aktivasi biasanya menghasilkan panas yang dilepaskan akibat proses reaksi. Svante Arrhenius (1859-1927) menyatakan bahwa hanya molekul yang memiliki energi lebih besar dari energi aktivasi yang akan bereaksi, dengan adanya energi yang tinggi ini maka molekul aktif dapat diproduksi.

Kalita, *et al* (2009) membandingkan hasil dengan menggunakan penelitian dan perhitungan untuk parameter kinetik dari bahan bakar biomassa densitas rendah. Perhitungan parameter kinetik dari data *thermogravimetry* menggunakan persamaan Arrhenius yang dinyatakan pada persamaan 2.8 berikut ini :

$$\frac{dx}{dt} = -Ae^{-E/RT} X^n \dots\dots\dots(2.8)$$

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

Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah metode perhitungan dengan *linear multiple regression method* adalah sangat akurat dan mempunyai tingkat presisi 10^{-2} jika dibandingkan dengan hasil penelitian.

Dari persamaan perhitungan energi aktivasi pada proses pembakaran bahan bakar padat dapat dianalisis menggunakan persamaan Arrhenius yang dinyatakan pada persamaan 2.9 berikut ini :

$$K = Ae^{-Ea/RT} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

K : Konstanta laju reaksi

A : Faktor pre-eksponensial

Ea : Energi aktivasi

R : Konstanta gas universal (8,312 kal/mol)

T : Temperatur (K)

Analisis matematis persamaan Arrhenius :

$$k = A e^{-E/RT} \dots\dots\dots(2.10)$$

Jika di \ln – kan maka :

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{R} \frac{1}{T} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana $y = m \cdot x$

$$y = \ln k \text{ dan } x = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{Sehingga : } y = -\frac{E}{R}x + c \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan memplotkan grafik antara $\ln k$ dengan $1/T$ dari data eksperimental, akan didapat harga energi aktivitas, dimana plot kemiringan (slope) *trendline* linier yang terbentuk adalah $-Ea/R$.