

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Wahyudi (2006) dalam penelitiannya mengungkapkan nilai kalor (Heating Value) merupakan nilai atau panas yang dihasilkan dari pembakaran suatu bahan bakar. Kadar nilai kalor dipengaruhi oleh elemen penyusun bahan bakar (Carbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen dan Sulfur). Dalam penelitiannya bahan yang digunakan adalah bahan biomassa yang mudah didapatkan. Bahan yang digunakan adalah : Sekam padi, Serbu kayu, Jerami, Kotoran sapi, Kotoran kelelawar, dan Kotoran kambing. Menggunakan Kalorimeter Bom ( *Bomb Calorimeter*) yang bertujuan mengetahui nilai kalor biomassa, karena dalam berbagai sumber sebelumnya yang sudah dipublikasikan nilai kalor hanya dicari dalam bahan bakar batubara saja. Dengan menggunakan analisis ultimate dan proksimate hal yang diamati adalah kenaikan suhu air dalam tabung dan membandingkan hasil penelitian sebelumnya dengan nilai kalor yang diperoleh dari pengujian. Dalam pengujian ini didapatkan perbandingan antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya. korelasi yang memberikan kesalahan terkecil adalah korelasi Tillman , dengan tingkat kesalahan 8,84%.

Subroto dkk (2007) melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan pengepresan terhadap karakteristik mekanik dan pembakaran briket kokas lokal dengan campuran bahan perekat aspal sebanyak 30% dari massa kokas, variasi tekan pembriketan yang diberikan yaitu  $100 \text{ kg/cm}^2$ ,  $150 \text{ kg/cm}^2$ , dan  $200 \text{ kg/cm}^2$ , dan  $250 \text{ kg/cm}^2$ . Setelah dilakukan pencampuran kokas dengan bahan perekat dan setelah dilakukan pembriketan dengan beda tekanan, briket terlebih dahulu dikeringkan secara alami untuk kemudian dilakukan pengujian mekanik dan pengujian pembakaran briket. Dari hasil pengujian diketahui bahwa semakin naiknya tekanan pembriketan yang diberikan menyebabkan kekuatan mekanik briket meningkat sehingga waktu pembakaran briket kokas akan semakin lama.

Ndraha (2009) melakukan penelitian tentang komposisi briket bioarang tempurung kelapa dan serbuk kayu untuk menemukan campuran yang pas agar memperoleh nilai mutu berstandar Inggris dan Jepang. Perlakuan yang digunakan adalah beda komposisi bahan pembuat briket dengan campuran tertentu untuk mengetahui mutu yang dihasilkan dari komposisi tersebut dengan perpaduan komposisi 200 gram. Dengan terlebih dahulu melakukan pengarangan bahan uji kemudian ditumbuk dan dilakukan pencampuran bahan sesuai komposisi yang diinginkan. Bahan perekat yang digunakan adalah tepung kanji, setelah semua bahan tercampur. Penelitian menggunakan oven dengan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 24$  jam. Sehingga didapatkan hasil beda komposisi bahan pembuat briket sangat berpengaruh pada kadar air, nilai kalor, kadar abu. Kadar air yang diperoleh dari penelitian ini adalah 4,74%, nilai kalor rata-rata 7192,15 kal/g, dan kadar abu rata-rata 5,61% yang tidak memenuhi standar mutu Inggris tetapi memenuhi standar Jepang.

Putera (2015) melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran limbah pertanian dengan metode *thermogravimetry analysis (TGA)*. Variasi yang digunakan adalah variasi bahan pengujian, yaitu *corncob*, sisa gergaji kayu jati, sekam padi, jerami, dan kulit singkong yang masing-masing memiliki berat 10 gram yang dimasukkan kedalam tungku dengan kenaikan suhu sebesar  $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  sampai bahan uji tidak mengalami penurunan massa lagi (konstan). Dari penelitian tersebut didapatkan nilai-nilai ITVM (*Volatile Matter Initiation Temperature*), ITFC (*Fixed Carbon Initiation Temperature*), PT (*Peak Temperature*), dan BT (*Burning Temperature*). Dengan urutan hasil dari yang tertinggi ke terendah, yaitu , ITVM : sisa gergaji kayu jati, sekam padi, jerami, dan *corncob*. ITFC : sekam padi, sisa gergaji kayu jati, *corncob*, jerami. PT : sekam padi, *corncob*, sisa gergaji kayu jati, jerami. BT : jerami, *corncob*, sekam padi, sisa gergaji kayu jati.

Naim (2015) melakukan penelitian tentang uji eksperimental biobriket limbah bahan baku cangkang kelapa sawit dengan variasi bahan perekat kanji, tar, dan campuran kanji dan tar. Dalam penelitian yang dilakukan didapatkan hasil bahwa pemilihan bahan perekat yang terbaik untuk campuran bahan perekat cangkang kelapa sawit adalah tar, karena tar memiliki kandungan air yang rendah dan memiliki nilai kalor tertinggi dibandingkan dengan briket campuran yang lain, tar merupakan zat volatile yang membantu proses penyalaan pada briket dalam suhu 341°C-287°C.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Biomassa**

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan dari proses fotosintesis, baik berupa produk atau buangan. Biasanya biomassa berasal dari sisa organisme yang belum lama mati, diantaranya adalah tanaman, pepohonan, rumput, limbah pertanian, limbah hutan, maupun kotoran ternak. Pada umumnya bahan bakar biomassa merupakan sisa dari bahan yang telah diambil produk primernya dan sudah tidak digunakan atau dimanfaatkan lagi. Biomassa dapat menciptakan sumber energi secara berkelanjutan dan merupakan sumber energi terbarukan (renewable) yang dapat menyediakan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil.

Untuk pemanfaatannya sendiri di Indonesia masih sangat kurang dalam pengembangannya dibandingkan dengan negara lain. Biomassa menyumbang sekitar 1.5% pasokan listrik dari listrik total di negara Amerika, sedangkan kapasitas biomassa di seluruh dunia mencapai 58 GW. Akan tetapi biomassa tidak serta merta merupakan bahan bakar yang murni ramah lingkungan, karena biomassa dianggap sebagai karbon netral, dimana biomassa mengambil karbon dari atmosfer saat tumbuh dan mengembalikannya ketika dilakukan pembakaran terjadi siklus tertutup tanpa peningkatan kadar karbon dioksida (Naim, 2015).

### **2.2.2 Pirolisis**

Pirolisis adalah penguraian biomassa karena adanya panas pada suhu yang lebih dari 500°C. Pirolisis juga diartikan sebagai dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis adalah kasus termolisis. Pirolisis ekstrim, yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu disebut karbonisasi. Pada pirolisis terdapat beberapa tingkatan proses yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku (umpan), sedangkan pirolisis sekunder adalah pirolisis yang terjadi atas pertikel dan gas atau uap hasil pirolisis primer. Perlu diingat bahwa pirolisis adalah penguraian karena panas, sehingga keberadaan O<sub>2</sub> sangat dihindari pada proses ini karena akan memicu reaksi pembakaran.

### **2.2.3 Briket**

Pembriketan adalah teknik mengkonversi biomassa yang memiliki densitas rendah diubah menjadi bahan bakar padat berupa briket dengan densitas dan konsentrasi tinggi (Shri AMM Murugappa Chettiar Research Center 2008), dapat dikatakan pembriketan juga guna memperbaiki karakteristik bahan. Selain ramah lingkungan pembriketan merupakan jalan keluar untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil yang masih menjadi energi pokok yang digunakan dan mengurangi volume sampah organik yang belum di maksimalkan pemanfaatannya. Pemilihan mengenai pembuatan briket ini karena cara pembuatan briket sampah relatif mudah, murah, bersih, ramah lingkungan dan mendorong kelestarian alam.



**Gambar 2.1** Briket arang ampas tebu

(Setiadi, 2010)

Briket (bioarang) merupakan sumber energi biomassa yang ramah lingkungan dan biodegradable. Briket arang berfungsi sebagai pengganti bahan bakar minyak, baik itu minyak tanah, maupun elpiji. Biomassa ini merupakan sumber energi masa depan yang tidak akan pernah habis, bahkan jumlahnya akan bertambah, sehingga sangat cocok sebagai sumber bahan bakar rumah tangga (Basriyanta, 2007).

#### **2.2.4 Tanaman Tebu**

Tebu merupakan tanaman yang mudah didapatkan di Indonesia. Masyarakat Indonesia sudah tidak asing dengan tanaman tebu, tanaman yang memiliki bentuk memanjang dengan tinggi rata-rata dapat mencapai 3-4 meter dengan setiap panjang ruas antara 10-30 cm dan dapat tumbuh subur di Indonesia yang beriklim tropis. Klasifikasi botani tanaman tebu sebagai berikut :



**Gambar 2.2** Tanaman tebu

(Abid, 2016)

Divisi : *Spermatophyta*  
Sub Divisi : *Angiospermae*  
Kelas : *Monokotyledone*  
Keluarga : *Poaceae*  
Genus : *Saccharum*  
Spesies : *Saccharum officinarum*

Masyarakat Indonesia sering menggunakan atau memanfaatkan tebu sebagai bahan baku gula, baik dalam skala industri ataupun home industri karena memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan bahan baku yang melimpah. Pemberdayaan, perawatan, dan pengolahan yang mudah membuat tanaman tebu menjadi salah satu pilihan masyarakat Indonesia mengandalkan tanaman tebu sebagai sumber mata pencaharian masyarakat.

#### 2.2.5 Ampas Tebu (*Bagase*)



**Gambar 2.3** Ampas tebu

Ampas tebu (*bagasse*) adalah bahan sisa serat dari batang tebu yang telah mengalami ekstraksi niranya dan banyak mengandung parenkim dan tidak tahan disimpan lama karena tidak tahan jamur. Ampas tebu merupakan bahan sisa dari proses ekstraksi cairan tebu. Dari satu pabrik dapat dihasilkan sekitar 30-40% dari berat tebu yang digiling dan tanaman tebu umumnya menghasilkan 24-36% *bagasse*. Akan tetapi untuk pengolahan limbah ampas tebu masih sangat minim dilakukan di Indonesia, masyarakat kebanyakan menggunakan ampas tebu sebagai pengganti kayu bakar, sedangkan ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan bakar biomassa.

### 2.2.6 Bahan Perekat

Bahan perekat digunakan dalam pembriketan ini bertujuan untuk mengikat hasil ampas tebu yang sudah di lakukan pirolisis dengan mengikat partikel antar biomassa sehingga briket dapat terbentuk dengan baik dan meningkatkan kekuatan briket. Terdapat banyak sekali bahan perekat yang dapat digunakan dalam pembuatan briket baik perekat organik maupun perekat in-organik, seperti : tar, kanji, tetes tebu, semen, lem.

Caroko (2013) mengungkapkan bahwa bahan perekat dibedakan menjadi beberapa berdasarkan fungsinya, yaitu : Perekat anorganik yang termasuk dalam jenis sodium silika, magnesium, cement, dan sulphite akan tetapi banyak meninggalkan abu pada waktu pembakaran. Bahan perekat organik yang lebih sedikit penggunaannya dibandingkan perekat hidrocarbon akan tetapi tidak tahan akan kelembaban. Bahan perekat hidrocarbon sering digunakan untuk campuran batubara cetak atau arang cetak.

Dalam penelitian ini perekat yang digunakan adalah perekat berbahan baku tepung kanji yang merupakan ekstrasi dari ubi kayu. Komposisi yang digunakan dalam pembuatan bahan perekat sebagai bahan pengikat briket adalah 10 gram tepung kanji dan 60 ml air kemudian dipanaskan sehingga tercampur rata dan membentuk sebuah perekat.

### 2.2.7 Pembakaran Bahan Bakar Padat

Pembakaran merupakan reaksi berurutan dari bahan bakar dan oksigen yang berlangsung cepat yang ditandai dengan timbulnya panas disertai cahaya dan timbulnya gas. Yang memberikan reaksi pelepasan unsur-unsur karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, nitrogen.

Dalam biomassa banyak zat-zat yang terkandung didalamnya yaitu kadar air (*moisture content*), zat yang mudah menguap (*volatile matter*), kadar karbon (*fixed carbon*), dan abu (*ash*), yang merupakan struktur pembentuk dari biomassa tersebut. Dalam proses pembakarannya ada beberapa tahapan yang dilalui oleh bahan bakar padat yaitu pengeringan (*drying*), devolatilisasi (*devolatilization*), dan pembakaran arang (Naim, 2015).

Tujuan dari pembakaran adalah melepaskan panas yang terkandung dalam briket, Pembakaran bahan bakar dapat dikatakan sempurna apabila semua unsur yang terkandung dalam bahan briket seperti unsur S, C, dan H bereaksi menjadi CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan SO, dalam proses pembakaran terjadi tiga tahapan yang berlangsung, yaitu pengeringan (*drying*), devolatilisasi (*devolatilization*), dan pembakaran (*char combustion*).

a. Pengeringan (*Drying*)

Pengeringan merupakan tahap awal dari proses pembakaran, pengeringan adalah waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan bahan bakar sampai titik uap dan melepaskan air sebelum *volatile* terlepas.

b. *Devolatilisasi*

Devolatilisasi merupakan proses setelah pengeringan yang mengakibatkan bahan bakar terdekomposisi, dimana proses ini akan memecah partikel kimia dan melepaskan *volatile matter*. Proses devolatilisasi dipengaruhi oleh jenis bahan bakar dan temperatur yang dihasilkan

c. Pembakaran (*Char Combustion*)

Pembakaran merupakan reaksi antara oksigen dan bahan bakar yang terbakar yang menghasilkan kalor. Pembakaran merupakan tahapan akhir dari pembakaran bahan bakar padat. Setelah terjadinya proses devolatilisasi maka proses terakhir yang terjadi adalah pembakaran yang hanya akan menyisakan abu. Proses pembakaran dipengaruhi oleh oksigen, temperatur gas, bilangan Reynold, dan ukuran bahan bakar.



Permukaan karbon juga bereaksi dengan karbondioksida dan uap air sesuai dengan reaksi reduksi (2.2) dan (2.3).



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.



### 2.2.8 *Thermogravimetry Analysis (TGA)*

*Thermogravimetry analysis (TGA)* merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis stabilitas thermal suatu bahan yang dilakukan dalam lingkungan yang oksidatif dimana suatu material dalam lingkungan dipanaskan atau didinginkan pada tingkat yang terkendali dan dicatat sebagai fungsi waktu atau suhu. Sehingga didapatkan data dari eksperimen TGA ditampilkan sebagai kurva termal dengan tampilan koordinat memiliki unit berat atau berat persen (%) dan absis dalam satuan suhu atau waktu. Hasil dari analisis thermogravimetri analisis dapat disajikan dengan kurva :

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

Dari *thermogravimetry* didapatkan penurunan massa bahan bakar sebagai fungsi dari suhu dan waktu. Sukma (2012) mengungkapkan bahwa *Thermogravimetric Analysis (TGA)* merupakan salah satu sistem tertutup yang dijaga konstan untuk mengetahui analisis thermal berbagai jenis material. Dalam penyajian kurva pengujian ini mencakup hubungan antara laju penurunan massa, temperatur, dan waktu.

### 2.2.9 Analisis Uji Proksimasi

Analisis proksimasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kadar air (*moisture content*), zat yang mudah menguap (*volatile matter*), kadar abu (*ash*), dan karbon tetap (*fixed carbon*) yang terkandung dalam bahan bakar yang sesuai dengan ASTM D-1762-84.

- a. Kadar Air

Setiap bahan bakar mengandung kadar air yang berpengaruh pada saat proses pembakaran. Semakin banyak kadar air yang terkandung akan semakin sulit atau lama bahan bakar dapat terbakar. Prosedur penghitungan menggunakan standar ASTM D-1762-84 dengan rumus (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*)

Semakin banyak zat mudah menguap yang terkandung dalam bahan bakar mempengaruhi kecepatan pembakaran dan dan intensitas api yang dihasilkan. Penghitungan zat yang mudah menguap dapat diketahui dengan menggunakan standar ASTM 1762-84 dengan rumus (2.5).

- 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 pembakaran 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 rumus (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 rumus (2.7).

- Kadar karbon tetap (%) =  $100\% - (M + A + V)$  ..... (2.7)

Keterangan :

M = *Moisture* (kadar air)

A = *Ash* (kadar abu)

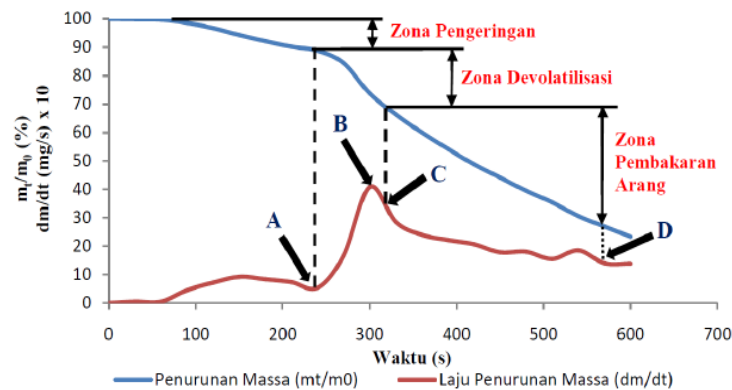
V = *Volatile matter* (kadar zat mudah menguap)

### 2.2.10 Karakteristik Pembakaran Biobriket

Dalam penelitian menggunakan metode *thermogravimetry* dapat diketahui dan ditentukan karakteristik biobriket yang dapat diamati melalui 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*). Dimana nilai-nilai tersebut adalah :

- ITVM (*Initiation Temperature of Volatile Matter*). Dimana temperature bahan bakar mengalami laju pengurangan massa yang mulai meningkat.
- ITFC (*Initiation Temperature of Fixed Carbon*). Merupakan temperature bahan bakar dimana laju pengurangan massa mulai meningkat dengan cepat sebagai akibat mulai terjadinya pembakaran.
- PT (*Peak of weight rate Temperature*). Merupakan temperature bahan bakar dimana laju pengurangan massa mencapai titik tertinggi .
- BT (*Burning out Temperature*). Adalah bahan bakar dimana laju pengurangan massa berlangsung sangat lambat dan cenderung stabil.

Setelah diketahui ITVM, ITFC, PT, dan BT maka secara otomatis dapat diketahui komposisi *volatile matter* dan *fix carbon*.



**Gambar 2.4** Proses pembakaran bahan bakar padat (Kusuma, 2014)

- Titik A = ITVM (*Initiation Temperature of Volatile Matter*)
- Titik B = ITFC (*Initiation Temperature of Fixed Carbon*)
- Titik C = PT (*Peak of weight loss Temperature*)
- Titik D = BT (*Burning out Temperature*)

### 2.2.11 Nilai Kalor (*Heating value*)

Nilai kalor adalah jumlah energi yang terkandung di dalam bahan bakar setiap satuan massa bahan bakar (Btu/lbm) atau (kCal/kg). 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).

- 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).

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

Dimana :  $\Delta T$  = 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  $\text{H}_2\text{O}$  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)

$\text{H}_2$  = Persentase massa hydrogen (%)

### 2.2.12 Energi aktivasi (Ea)

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.

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 ( $\text{menit}^{-1}$ ), 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 (8,314 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  $-E_a/R$  dan dikalikan dengan konstanta gas universal (R).