

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sulistiyanto (2006) melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran biobriket campuran batubara dan sabut kelapa. Tujuan penelitian ini adalah menguji karakteristik pembakaran biobriket campuran batubara dengan sabut kelapa perbandingan batubara : biomassa : 10% : 90%, 20% : 80%, 30% : 70%. Penelitian awal dilakukan dengan pengujian proximate bahan baku meliputi kadar air, nilai kalor, kadar abu, volatile matter dan kadar karbon. Selanjutnya dilakukan pembuatan biobriket dengan pencampuran bahan baku batu bara, sabut kelapa, lime stone dengan perekat pati kanji dengan pengepresan tekanan 100 kg/cm^2 . Berdasarkan percobaan dan parameter yang telah di uji, penambahan biomassa menyebabkan naiknya volatile matter sehingga lebih cepat terbakar dan laju pembakaran lebih cepat. Penambahan biomassa juga dapat menurunkan emisi polutan yang dihasilkan pada saat pembakaran. Komposisi biobriket terbaik yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari adalah komposisi batubara : biomassa = 10% : 90% karena lebih cepat terbakar dan lebih ramah lingkungan, sedangkan untuk kebutuhan industri, komposisi terbaik dengan pencapaian temperatur tertinggi adalah komposisi batubara : biomassa = 30% : 70%.

Subroto (2006) melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran biobriket campuran batubara, ampas tebu dan jerami. Dalam penelitian ini

komposisi yang di uji adalah biobriket dengan perbandingan prosentase batubara : biomassa (ampas tebu dan jerami); 10% : 90% ; 33,3% : 66,6% ; 50% : 50% . Penelitian awal dilakukan dengan pengumpulan, penghalusan, pengujian bahan baku (kadar air, nilai kalor, kadar abu, volatile matter, kadar karbon) dan pencampuran bahan baku (batu bara, ampas tebu, jerami dan perekat pati), selanjutnya dilakukan pengepresan dengan tekanan 100 kg/cm². Pengujian pembakaran dilakukan di laboratorium untuk mengetahui besarnya laju pengurangan massa dengan laju kecepatan udara konstan (0,3 m/s), kemudian dilanjutkan dengan pengujian emisi polutan. Berdasarkan percobaan dan parameter yang telah di uji, penambahan biomass menyebabkan naiknya *volatile matter* sehingga lebih cepat terbakar dan laju pembakaran lebih cepat. Penambahan biomass juga dapat menurunkan emisi polutan yang dihasilkan pada saat pembakaran. Komposisi biobriket terbaik yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari adalah komposisi batubara 10% : biomass 90% karena lebih cepat terbakar, suhu yang dicapai dapat optimal dan lebih ramah lingkungan.

Subroto (2007) melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran briket campuran arang kayu dan jerami. Dalam penelitian ini komposisi yang diuji adalah biobriket dengan perbandingan persentase jerami: arang kayu = 30% : 70%, 40% : 60%, 50% : 50%. Pengujian pembakaran dilakukan dengan kecepatan udara konstan untuk mengetahui besarnya laju pengurangan massa, laju pembakaran dan temperatur pembakaran, kemudian dilanjutkan dengan pengujian emisi polutan. Berdasarkan percobaan dan parameter yang telah

diuji, biobriket dengan campuran 50% jerami dan 50% arang kayu mempunyai laju pembakaran yang tinggi. Penambahan biomassa juga dapat menurunkan emisi polutan yang dihasilkan pada saat pembakaran. Komposisi biobriket terbaik yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari adalah komposisi arang kayu : jerami = 50% : 50% karena lebih ramah lingkungan, sedangkan untuk kebutuhan industri, komposisi terbaik dengan pencapaian temperatur tertinggi adalah komposisi arang kayu : jerami = 70% : 30%.

Syamsiro (2007) melakukan penelitian tentang uji eksperimental pembakaran briket biomassa dari limbah cangkang kakao. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh laju aliran udara, temperatur dinding ruang bakar, temperatur udara preheat, dimensi dan komposisi briket terhadap laju pembakaran dan emisi CO yang dihasilkan dari briket biomassa limbah cangkang kakao. Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu mengeringkan limbah cangkang kakao selama kurang lebih 3 hari. Arang cangkang kakao yang digunakan adalah hasil karbonisasi pada temperatur 400°C selama 2 jam. Biomassa dihancurkan sampai ukuran partikel kurang dari 1 mm. Kemudian dilakukan pembuatan briket dalam cetakan berbentuk silinder dari 5 gram campuran biomassa dan bahan pengikat (gel dari tepung kanji) dengan perbandingan 70% : 30%. Setelah dibriket kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 50°C selama 5 jam. Pengujian pembakaran dilakukan untuk variabel laju aliran udara, temperatur dinding ruang bakar, temperatur udara preheat, dimensi dan komposisi briket. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik pembakaran briket dipengaruhi

beberapa parameter di atas. Kenaikan temperatur dinding ruang bakar, temperatur udara preheat, rasio luas permukaan per massa briket akan meningkatkan laju pembakaran. Sedangkan pada variasi laju aliran udara akan diperoleh nilai optimal yang memberikan laju pembakaran maksimum yaitu 0,2 m/s dan pada komposisi briket diperoleh laju pelepasan kalor maksimum pada komposisi 75% cangkang kakao 25% arang cangkang kakao. Pada pengujian emisi CO terjadi penurunan seiring dengan kenaikan temperatur dinding ruang bakar dan rasio luas permukaan per massa briket. Sebaliknya terjadi kenaikan emisi CO seiring dengan kenaikan laju aliran udara. Komposisi 75% cangkang kakao 25% arang cangkang kakao memberikan emisi CO paling rendah dibandingkan dengan lainnya.

Wijayanti (2009) melakukan penelitian tentang karakteristik briker arang dari serbuk gergaji dengan penambahan arang cangkang kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan kualitas briket serbuk gergajian dengan penambahan arang cangkang kelapa sawit. Untuk meningkatkan kualitas briket arang, dilakukan penambahan arang cangkang kelapa sawit dengan variasi 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dari berat briket arang serbuk gergaji. Proses pengarangan dilakukan dengan menggunakan tungku drum dan metode sangrai untuk serbuk gergaji. Perikat yang digunakan sebanyak 5% dan briket dikempa dingin dengan beban 2 ton selama 15 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan arang cangkang kelapa sawit berpengaruh tidak nyata pada nilai kadar air, kadar zat menguap dan kadar karbon terikat, tetapi berpengaruh nyata pada nilai kadar abu, nilai kalor,

kerapatan, dan keteguhan tekan. Secara keseluruhan, kualitas briket serbuk gergaji dengan arang cangkang kelapa sawit ini cukup baik, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Pembriketan

Pembriketan suatu bahan bakar padat biomassa dapat dikatakan sebagai proses densifikasi yang bertujuan untuk memperbaiki karakteristik bahan bakar biomassa. Dalam bentuk aslinya sebagian besar sampah kota tidak bisa langsung digunakan sebagai bahan bakar karena mempunyai densitas yang rendah, sehingga akan menimbulkan kesulitan dalam penanganannya, seperti dalam pengangkutan dan penyimpanan. Salah satu cara untuk mengatasi persoalan ini adalah dengan densifikasi. Densifikasi adalah proses penekanan yang bertujuan untuk mendapatkan densitas yang lebih tinggi. (Bhattacharya dkk, 1996)

Berdasarkan peralatan yang digunakan, densifikasi dibedakan menjadi empat, yaitu densifikasi press ulir, densifikasi press piston, densifikasi press rol dan *pelletizing*. Densifikasi press ulir sering digunakan untuk aplikasi skala kecil di negara berkembang. Teknologi pembriketan dapat digolongkan menjadi 2 yaitu tekanan rendah-sedang ($300-1.000 \text{ kg/cm}^2$) dan tekanan sedang-tinggi ($1.000-2.500 \text{ kg/cm}^2$). Jika material serbuk yang dirubah di bawah tekanan tinggi dengan cara ditekan, beberapa material masih memerlukan pengikat meskipun di bawah kondisi tekanan tinggi. Untuk mengetahui kesesuaian biomassa pada pembriketan, haruslah mengetahui

sifat-sifat fisika dan kimia biomassa. Sifat-sifat fisika meliputi *moisture content*, *bulk density*, *void volume*, dan *thermal properties*. Sifat kimia meliputi analisa proksimasi dan ultimasi. Sifat fisika lebih berperan penting dalam mekanisme pengikat pada pembriketan.

Media pengikat yang memiliki viskositas tinggi, seperti tar dan zat cair organik lainnya dapat membentuk ikatan yang hampir sama kuat dengan padatnya. Gaya adhesi antara zat padat-cair dan gaya kohesi di dalam zat padat, sepenuhnya digunakan untuk pengikatan. Lignin dari biomassa dapat juga diasumsikan membantu pengikatan. Zat padat yang dipisah dengan halus, mudah untuk menarik atom bebas atau molekul sekitarnya. Lapisan adsorpsi tipis yang terbentuk tidak mudah bergerak. Tetapi lapisan ini dapat berhubungan atau melakukan penetrasi satu sama lainnya. Lignin yang lembut pada temperatur dan kondisi tekanan tinggi membentuk lapisan adsorpsi dengan bagian yang padat. Penggunaan gaya luar seperti tekanan memungkinkan luas bidang kontak meningkat yang menyebabkan gaya molekuler menyebar cukup tinggi sehingga meningkatkan kekuatan ikatan antara adhesion partners. Gaya ini tampak menonjol pada jarak yang sangat pendek sekali antara adhesion partners. Jenis ikatan adhesi ini kemungkinan besar terjadi pada serbuk. Fiber ataupun partikel-partikel lain dapat saling mengunci sebagai hasil dari pembentukan ikatan tertutup. Kekuatan briket sebagai hasil dari penggumpalan tergantung pada interaksi dan karakteristik material (Grover dan Mishra, 1996).

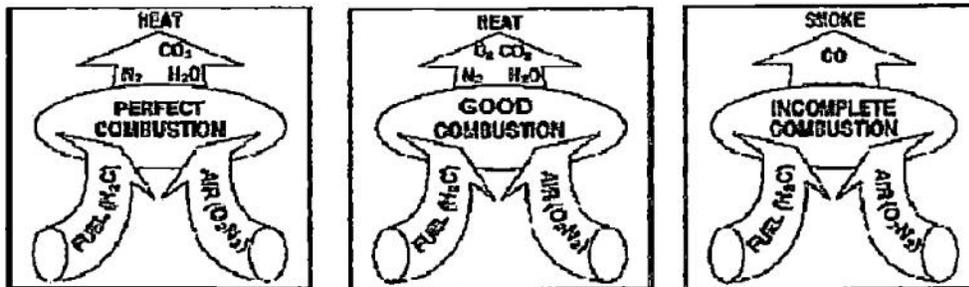
Pengaruh komponen kimiawi yaitu lignin, air, lemak, abu dan bahan ekstratif pada biomassa dalam teknologi pembriketan mempunyai peranan masing-masing. Adanya lignin dalam biomassa dapat meningkatkan ikatan antar partikel pada saat proses pembriketan dan menaikkan temperatur saat proses pembakaran. Kadar air yang tinggi dapat menghambat proses pemadatan dan menurunkan temperatur pada saat proses pembakaran berlangsung. Pada saat proses pembriketan lemak dan bahan ekstratif akan menurunkan ikatan antar partikel, sedangkan tingginya kadar abu dalam biomassa akan menurunkan temperatur pada proses pembakaran.

2.2.2 Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Oksigen (O_2) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 20.9% dari udara. Bahan bakar padat atau cair harus diubah ke bentuk gas sebelum dibakar. Biasanya diperlukan panas untuk mengubah cairan atau padatan menjadi gas. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup (*Bureau of Energy Efficiency, 2004*).

Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” pembakaran yaitu (1) *Temperature*/ suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar, (2) *Turbulence*/ Turbulensi

atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik, dan (3) *Time/ Waktu* yang cukup untuk pembakaran yang sempurna.



Gambar 2.1 Pembakaran yang sempurna, yang baik dan tidak sempurna
(Bureau of Energy Efficiency, 2004)

Pembakaran sempurna (*perfect combustion*) terjadi kalau semua unsur C, H dan S yang terkandung dalam bahan bakar bereaksi membentuk CO₂, H₂O dan SO₂. Pembakaran parsial atau pembakaran tidak sempurna (*incomplete combustion*) terjadi jika proses pembakaran bahan bakar menghasilkan “intermediate combustion product” seperti CO, H₂, aldehyd, disamping CO₂ dan H₂O. Kalau oksidatornya udara, gas hasil pembakaran juga mengandung N₂.

2.2.3 Pembakaran bahan bakar padat

Proses pembakaran bahan bakar padat meliputi tiga tahapan, yaitu tahap pengeringan, tahap devolatilisasi, tahap pembakaran arang, dan akan tersisa abu (Borman, 1998). Waktu yang dibutuhkan untuk setiap proses pembakaran tergantung pada sifat bahan bakar, ukuran bahan bakar, suhu dan kondisi pembakaran.

Biomassa terdiri atas beberapa komponen yaitu kandungan air (*moisture content*), zat mudah menguap (*volatile matter*), kadar karbon (*fixed carbon*), dan abu (*ash*). Mekanisme pembakaran biomassa terdiri dari tiga tahap yaitu pengeringan (*drying*), devolatilisasi (*devolatilization*), dan pembakaran arang (*char combustion*). Proses pengeringan akan menghilangkan *moisture*, devolatilisasi yang merupakan tahapan pirolisis akan melepaskan *volatile* dan pembakaran arang melepaskan karbon, sisa pembakaran menghasilkan abu.

Mekanisme pembakaran bahan bakar dapat dijelaskan sebagai berikut :

a) Pengeringan (*drying*)

Moisture dalam bahan bakar padat dapat berupa air bebas (*free water*), berada di dalam 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 dan konduksi ke arah bagian dalam partikel. Air yang ada di dalam 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 pada titik penguapan dan menghilangkan kandungan airnya. Keseimbangan energi pada suatu partikel kecil menyatakan bahwa laju waktu perubahan energi di dalam partikel sama dengan laju pemanasan untuk menguapkan air ditambah laju transfer kalor menuju partikel melalui proses konveksi dan radiasi (Borman dan Ragland, 1998).

$$\frac{d}{dt} (m_w \cdot u_w + m_{df} \cdot u_{df}) = - \dot{m}_w \cdot h_{fg} + q \quad (2.1)$$

dengan hfg adalah kalor laten penguapan per unit massa air, m adalah massa, u adalah internal energi per unit massa, w adalah *water* (air), dan df adalah *dry fuel* (bahan bakar kering). Laju perpindahan panas ke partikel q , tergantung dari temperatur dinding dapur (T_b), yang diasumsikan sama dengan temperatur gas sekelilingnya. Pada proses pengeringan bahan bakar padat, air yang terkandung di bahan bakar akan menguap secara cepat sebelum *volatile* dilepaskan, (Borman dan Ragland, 1998).

b) Devolatilisasi

Setelah proses 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 sebagai *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 bahan bakar padat. Selanjutnya api akan memanasi 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 temperaturnya. Untuk partikel yang

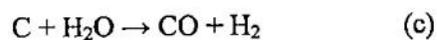
lebih besar proses pirolisis terjadi secara berangsur-angsur dari bagian luar partikel ke bagian dalam. Nyala bahan bakar padat terjadi di permukaan bahan bakar atau pembakaran *volatile matter* pada lapis batas di sekitar partikel. *Volatile matter* akan terbakar lebih dulu dari pada *char* apabila laju pemanasan permukaan partikel rendah.

c) Pembakaran arang (*char combustion*)

Tahap 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). Untuk kebutuhan keteknikan, adalah lebih tepat menggunakan laju reaksi global (*global reaction rate*) untuk menunjukkan laju pembakaran partikel arang (*char*). Laju reaksi global dirumuskan dalam istilah laju reaksi massa arang per satuan luas permukaan luar dan per satuan konsentrasi oksigen di luar lapis batas partikel, sehingga reaksi global bisa dituliskan sebagai berikut :



dimana permukaan karbon juga bereaksi dengan karbondioksida dan uap air dengan reaksi reduksi sebagai berikut :



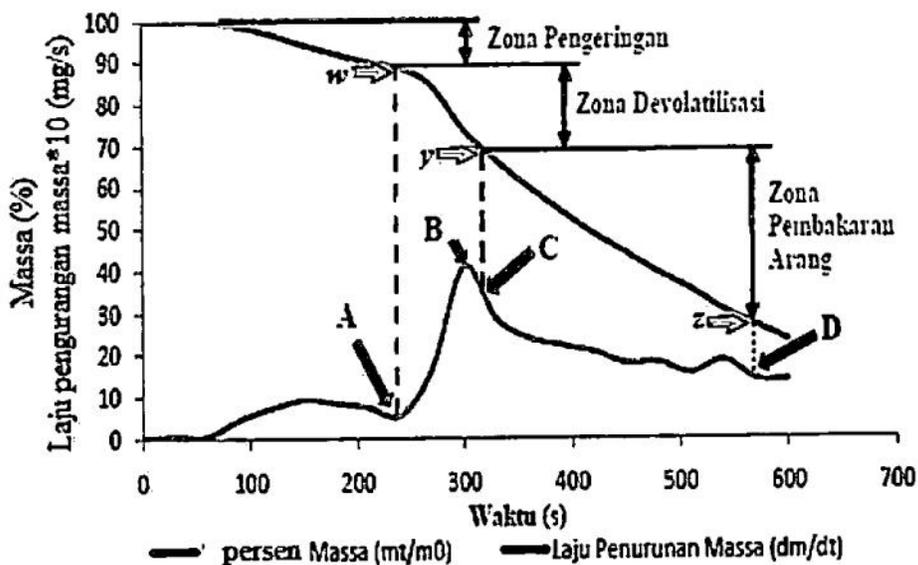
Reaksi reduksi (b) dan (c) secara umum lebih lambat dari pada reaksi oksidasi (a), dan untuk pembakaran biasanya hanya reaksi (a) yang diperhitungkan.

Untuk laju reaksi global dengan orde n pada oksigen, laju pembakaran arang dinyatakan sebagai :

$$\frac{dm_c}{dt} = -i \left(\frac{M_c}{M_{O_2}} \right) A_p k_c (\rho_{O_2}(s))^n \quad (2.2)$$

dengan i adalah rasio stoikiometri mol karbon (M_c) per mol oksigen (M_{O_2}) (yaitu = 2 untuk reaksi (b)), A_p adalah luas permukaan luar partikel, k_c adalah konstanta laju kinetik, $\rho_{O_2}(s)$ adalah densitas parsial oksigen pada permukaan partikel, dan n adalah orde reaksi.

Fase pembakaran bahan bakar padat diperlihatkan pada gambar 2.2. Dari pencatatan massa briket secara berkala selama pembakaran, diperoleh profil perubahan massa terhadap waktu.



Gambar 2.2 Tahapan proses pembakaran bahan bakar padat (Zainuri, 2009).

Pada gambar 2.2 digunakan definisi tersendiri pada masing-masing titik untuk karakteristik pembakaran pada bahan bakar padat yang meliputi :

- a. A adalah temperatur dimana *volatile matter* mulai keluar atau terlepas yang ditandai dengan penurunan massa yang meningkat tajam.
- b. B adalah temperatur dimana terjadi pengurangan massa terbesar yang ditandai dengan titik tertinggi dari grafik laju penurunan massa.
- c. C adalah temperatur dimana *fixed carbon* mulai terbakar yang ditandai dengan penurunan massa yang mulai berjalan lambat.
- d. D adalah temperatur dimana pembakaran dapat dinyatakan selesai yang ditandai dengan penurunan massa yang konstan

Dari gambar 2.2 dapat diprediksi persentase kandungan air, *volatile matter*, *fixed carbon*, dan abu dari briket, yaitu :

- a. Kadar air

$$\text{moisture, \%} = \left[\frac{v-w}{v} \right] \times 100 \quad (2.3)$$

v adalah massa sampel awal

w adalah massa sampel pada titik w

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

$$\text{volatile matter, \%} = \left[\frac{w-z}{v} \right] \times 100 \quad (2.4)$$

y adalah massa sampel pada titik y

- c. Kadar karbon (*fixed carbon*)

$$\text{fixed carbon, \%} = \left[\frac{y-z}{v} \right] \times 100 \quad (2.5)$$

z adalah massa sampel pada titik z

d. Kadar abu (*ash*)

$$\text{ash, \%} = 100 - (\text{moisture} + \text{volatile matter} + \text{fixed carbon}) \quad (2.6)$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat antara lain (Sulistyanto, 2006) :

a. Ukuran partikel

Partikel yang lebih kecil ukurannya akan lebih cepat terbakar.

b. Kecepatan aliran udara

Laju pembakaran biobriket akan naik dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan kenaikan temperatur.

c. Jenis bahan bakar

Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar. Karakteristik tersebut antara lain kandungan *volatile matter* dan kandungan *moisture*.

d. Temperatur udara pembakaran

Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

2.2.4 Sekam padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa

yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar.

Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah. Penggunaan energi sekam bertujuan untuk menekan biaya pengeluaran untuk bahan bakar bagi rumah tangga petani. Penggunaan bahan bakar minyak yang harganya terus meningkat akan berpengaruh terhadap biaya rumah tangga yang harus dikeluarkan setiap harinya.

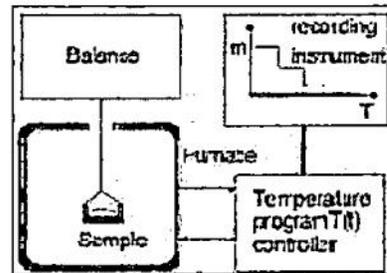
2.2.5 Bahan perekat

Perekat pati dikelompokkan sebagai perekat alam dengan perekat dasar karbohidrat. Keuntungan penggunaan perekat pati antara lain : harga lebih murah, mudah pemakaiannya, dapat menghasilkan kekuatan rekat kering yang tinggi. Selain itu perekat pati juga memiliki kelemahan seperti : ketahanan terhadap air yang rendah untuk perekatan awal sehingga bersifat sementara (dalam kayu lapis), mudah diserang jamur, bakteri, dan binatang pemakan pati (Sulistyanto, 2006).

2.2.6 Termogravimetri (TGA)

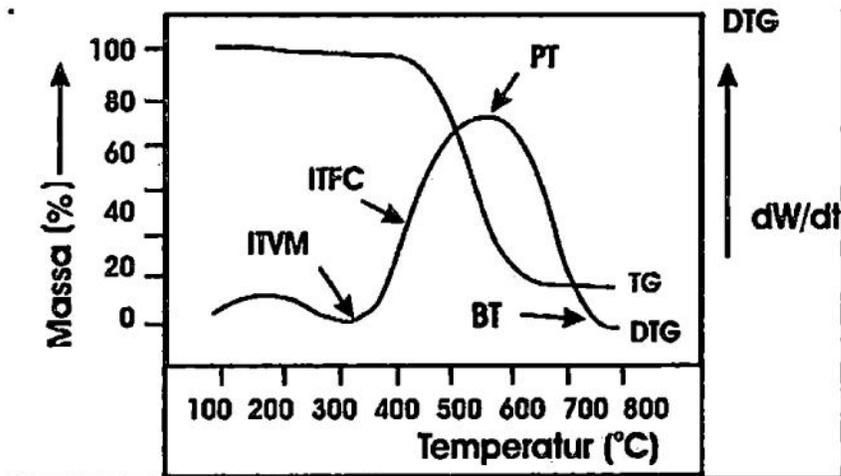
Thermogravimetric Analysis (TGA) merupakan suatu teknik untuk menganalisa perhitungan stabilitas termal suatu bahan dan fraksi komponen zat volatilnya dengan memonitor perubahan massa selama spesimen diberi perlakuan panas. Grafik perubahan massa ditampilkan sebagai fungsi terhadap kenaikan temperatur. Sebuah instrumen yang mengukur penurunan

massa pada sampel *biofuel* di dalam sebuah *furnace* dengan *thermocontroller* (disebut *thermobalance*).



Gambar 2.3 Skema *thermobalance*

Othman dan Shamsuddin (2003) melakukan penelitian tentang pembakaran batubara menggunakan analisa termogravimetri. Batubara yang digunakan adalah Blair Athol (Batubara Australia), Merit Pila (Batubara Malasya), dan Tanito Harum (Batubara Indonesia). Penelitian termogravimetri dimulai dari temperatur ruangan sampai 1000°C. Data turunan termogravimetri kemudian dianalisa dengan menggunakan persamaan reaksi Arrhenius orde pertama. Data termogravimetri dari sistem *thermobalance* kemudian diplotkan kedalam grafik hubungan antara temperatur dan penurunan massa seperti terlihat pada gambar 2.4 :



Gambar 2.4 Grafik profil pembakaran untuk batubara *bituminous* (Gruescu, 2003).

Dari gambar tersebut, titik pada setiap proses dinyatakan dengan :

- Gambar ITVM (*Initiation Temperature of Volatile Matter*) adalah temperatur bahan bakar dimana laju pengurangan massa sampel (dW/dt) mulai mengalami peningkatan. Pada kurva laju pengurangan massa, ITVM ditandai pada zona dimana laju pengurangan massa sedikit turun kemudian meningkat dengan cepat.
- ITFC (*Initiation Temperature of Fixed Carbon*) merupakan temperatur bahan bakar dimana laju pengurangan massa mulai meningkat dengan sangat cepat sebagai akibat mulai terjadi pembakaran.
- PT (*Peak of weight loss rate Temperature*) merupakan temperatur bahan bakar dimana laju pengurangan massa dari sampel mencapai nilai tertinggi yang ditandai sebagai puncak dari kurva dW/dt .

- BT (*Burning out Temperature*) adalah temperatur bahan bakar dimana laju pengurangan massa berlangsung sangat lambat dan cenderung stabil, yang ditandai dengan kurva yang sedikit mendatar karena pembakaran telah selesai.

TGA dipakai terutama untuk menetapkan stabilitas panas polimer-polimer. Metode TGA yang paling banyak dipakai didasarkan pada pengukuran berat yang kontinyu terhadap neraca sensitif disebut neraca panas. Ketika suhu sampel dinaikan dalam udara atau dalam suatu *atmosfer* yang *inert*.

Suatu variasi dari metode tersebut adalah mencatat kehilangan berat dengan waktu pada suhu konstan. Disebut TGA isothermal, TGA ini kurang umum dipakai daripada TGA nonisothermal. Instrumen-instrumen TGA modern memungkinkan termogram-termogram dicatat pada kuantitas mikrogram terhadap produk-produk degradasi yang terjadi. Analisis termogravimetri dilakukan baik secara dinamik maupun secara statik. Pada termogravimetrik dinamik, sampel dinaikkan temperturnya secara linier terhadap waktu. Pada cara statik atau termogravimetri isothermal, sampel dipelihara temperturnya pada suatu periode waktu tertentu, selama waktu tersebut setiap perubahan berat dicatat.

Analisa ini bergantung pada tingkat presisi yang tinggi dalam tiga pengukuran: berat, suhu, dan perubahan suhu. TGA umumnya digunakan dalam penelitian dan pengujian untuk menentukan karakteristik bahan seperti polimer, untuk menentukan suhu degradasi, bahan menyerap kadar air,

tingkat komponen anorganik dan bahan organik, dekomposisi poin bahan peledak, dan residu pelarut.

2.2.7 Energi Aktivasi

Di dalam ilmu kimia, energi aktivasi merupakan sebuah istilah yang diperkenalkan oleh Svante Arrhenius, yang didefinisikan sebagai energi yang harus dilampaui agar reaksi kimia dapat terjadi. Energi aktivasi bisa juga diartikan sebagai energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia tertentu dapat terjadi. Energi aktivasi sebuah reaksi biasanya dilambangkan sebagai E_a , dengan satuan kilo joule per mol (Wikipedia, 2010)

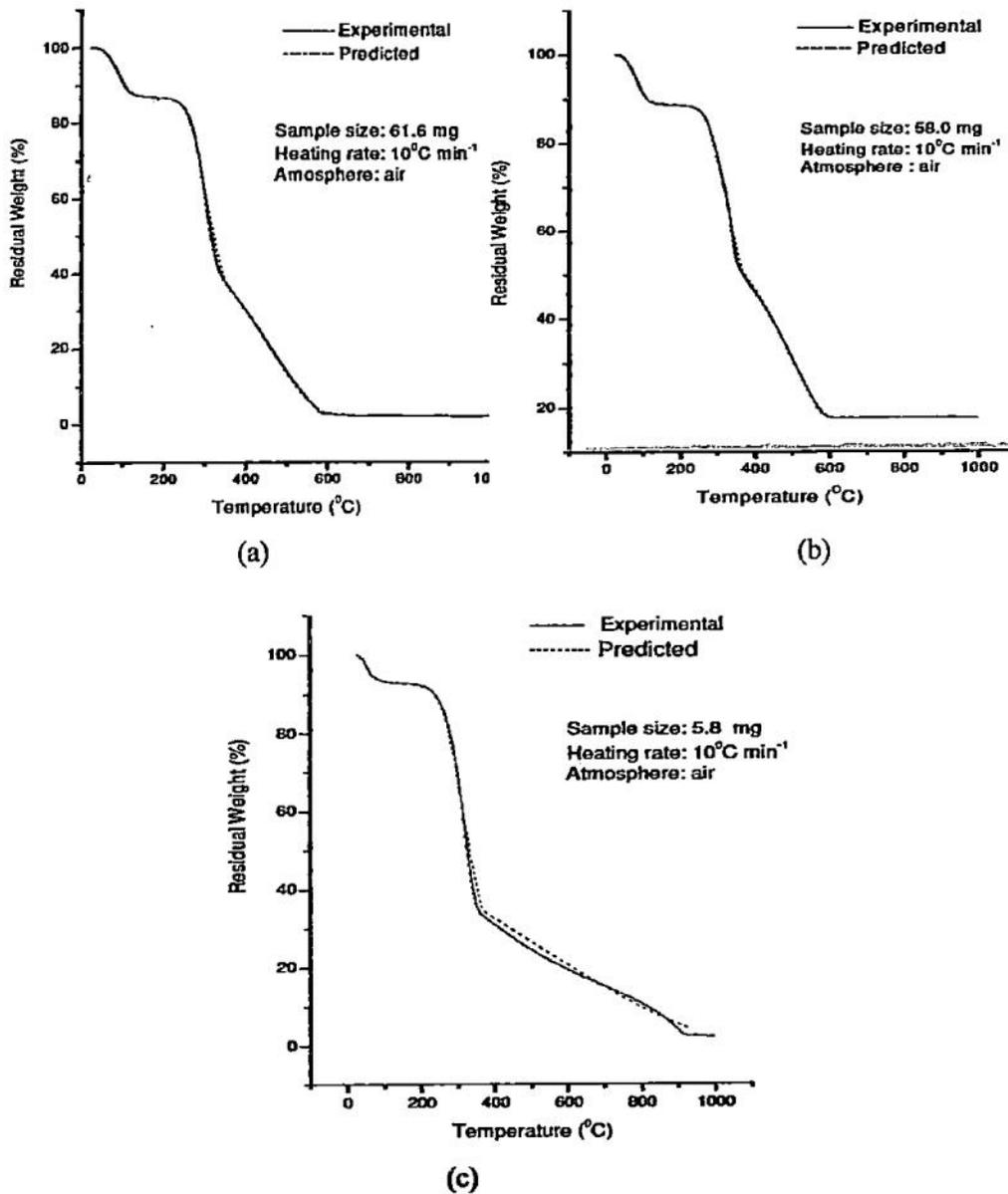
Kalita et al., (2009) membandingkan hasil dengan menggunakan penelitian dan perhitungan untuk parameter kinetik dari bahan bakar biomassa densitas rendah. Perhitungan parameter kinetik dari data termogravimetri menggunakan persamaan Arrhenius berikut :

$$\frac{dX}{dt} = e^{-\left(\frac{E}{RT}\right)} X^n \quad (2.7)$$

Dimana X adalah berat 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 absolut (K), dan n adalah orde reaksi (-).

Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah metode perhitungan dengan *liner multiple regression method* adalah sangat akurat dan mempunyai tingkat

presisi 10^{-2} jika dibandingkan dengan hasil penelitian. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.5 Hasil prediksi dan eksperimen dari (a) serbuk gergaji, (b) sekam padi, dan (c) serbuk bambu (Kalita et al, 2009)

Dari persamaan 2.7 perhitungan energi aktivasi pada proses pembakaran bahan bakar padat dapat dianalisa menggunakan persamaan Arrhenius berikut.

$$k = Ae^{-Ea/RT} \quad (2.8)$$

k : kostanta laju reaksi

A : faktor pre-eksponensial

Ea : energi aktivasi

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

T : temperatur (K)