

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Subroto dkk (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/cm<sup>2</sup>, 150 kg/cm<sup>2</sup>, 200 kg/cm<sup>2</sup>, dan 250 kg/cm<sup>2</sup>. 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/cm<sup>2</sup>, yaitu sebesar 18.939 kg/cm<sup>2</sup> 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/cm<sup>2</sup> 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*.

Jamilatun (2008) melakukan penelitian tentang sifat-sifat penyalaan dan pembakaran briket biomassa, briket batubara, dan arang kayu. Secara umum, proses pembakaran padatan terdiri atas beberapa tahap yaitu pemanasan, pengeringan, devolatilisasi, dan pembakaran arang. Faktor-faktor yang menentukan karakteristik pembakaran suatu briket adalah kecepatan pembakaran, nilai kalor, berat jenis, dan banyaknya polusi atau senyawa volatil yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat penyalaan dari berbagai macam briket biomassa, arang kayu, dan batubara yang meliputi kecepatan pembakaran, lama briket menyala sampai menjadi abu, waktu penyalaan awal, banyaknya asap atau senyawa volatil yang dihasilkan, nilai kalor, dan lama waktu untuk mendidihkan 1 liter air. Penelitian dilakukan dengan membakar 250 gram setiap jenis briket. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tempurung kelapa memiliki lama menyala terpanjang yaitu 116 menit dengan kecepatan pembakaran 126,6 gram/detik dan nilai kalor tertinggi sebesar 5.779,11 kal/gram. Masing-masing briket hasil pengujian ini digunakan untuk mendidihkan 1 liter air, semua jenis briket yang diuji membutuhkan waktu antara 5 sampai 7 menit. Jika dibandingkan dengan briket batubara yang memiliki nilai kalor 6.058 kal/gram dan arang kayu dengan nilai kalor 3.583 kal/gram maka briket tempurung kelapa lebih baik jika digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Kusuma (2010) menganalisis pengaruh tekanan pada limbah kelapa Sawit meliputi tandan kosong, serat Sawit, dan cangkang kelapa Sawit terhadap karakteristik pembakaran briket. Pembriketan dilakukan dengan variasi tekanan sebesar 200 kg/cm<sup>2</sup>, 250 kg/cm<sup>2</sup>, dan 300 kg/cm<sup>2</sup>. Kemudian dipertahankan selama 2 menit. Arang limbah kelapa Sawit dihaluskan menjadi partikel dengan lolos 20 *mesh*. Perekat yang digunakan pada penelitian ini adalah tepung kanji sebesar 10 gram. Persentase perekat tepung kanji sekitar 10% dari total massa briket, sedangkan total massa briket sebesar  $\pm$  3 gram. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan yang diberikan, maka semakin sulit briket untuk terbakar. Hal ini dikarenakan kerapatan partikel briket semakin tinggi yang menyebabkan proses oksidasi sulit masuk dan energi aktivasi menjadi lebih besar. Namun semakin tinggi tekanan pembriketan akan menurunkan kandungan

air pada briket dan menaikkan kandungan *fixed carbon*, sehingga nilai ITVM, ITFC, PT, dan BT semakin tinggi.

Suryani dkk. (2012) melakukan penelitian tentang briket bioarang yang dibuat dari buah bintaro dan tempurung kelapa dengan menggunakan perekat amilum. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan briket bioarang dengan kualitas yang terbaik dengan variasi suhu karbonisasi dan komposisi bahan baku. Metode yang digunakan pada penelitian yang dilaksanakan ini adalah metode eksperiment atau percobaan. Variasi suhu karbonisasi yang digunakan adalah 3500 °C, 4000 °C, dan 4500 °C, dengan perbandingan komposisi bahan baku buah bintaro dan tempurung kelapa 50%:50%, 60%:40%, dan 70%:30%. Pembuatan briket ini melalui beberapa tahapan yaitu, persiapan bahan baku, analisis awal, pembriketan, dan analisis akhir. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah pada komposisi bahan baku buah bintaro dan tempurung kelapa dengan suhu karbonisasi 4000 °C diperoleh nilai kadar air sebesar 7.03%, abu 2.36%, kadar zat terbang 13.47%, karbon tertambat 77.12%, dan nilai kalor 6970 kal/g. Pada komposisi bahan baku buah bintaro dan tempurung kelapa 40% : 60% diperoleh briket arang yang optimum.

Usman dkk. (2014) melakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah tempurung kelapa dan serbuk kayu gergaji yang memiliki potensi cukup besar yang dapat digunakan sebagai bahan baku briket arang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi briket campuran arang tempurung kelapa dan arang serbuk kayu gergaji sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan yang meliputi uji kadar air, kadar abu, dekomposisi senyawa volatil, kadar karbon terikat, kerapatan, dan nilai kalor. Proses karbonasi dilakukan dalam tungku pembakaran, selanjutnya arang yang dihasilkan dihaluskan, diayak, dan dilanjutkan dengan pembuatan briket dengan menggunakan perekat tepung tapioka. Briket dicetak dengan 5 variasi perbandingan yaitu 100% arang tempurung kelapa, (90:10)%, (50:50)%, (10:90)% arang tempurung kelapa : serbuk kayu gergaji dan 100% arang serbuk kayu gergaji. Hasil penelitian menunjukkan kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon terikat, kerapatan, dan nilai kalor berturut-turut (6,45% - 8,09%), (3,91% - 7,43%),

(36,39% - 68,16%), (27,94% - 56,58%), (0,48 g/cm<sup>3</sup> - 0,88 g/cm<sup>3</sup>) dan (5748,5 cal/g - 6361 cal/g). Nilai kalor tertinggi adalah briket arang tempurung kelapa yaitu 6361 cal/g dan terendah adalah briket arang serbuk kayu gergaji yaitu 5748,5 cal/g. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kualitas briket arang yang dihasilkan telah memenuhi standar mutu SNI.

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 persentase perekat sebesar 10%. Campuran serbuk limbah dan perekat tersebut lalu dicetak dengan variasi tekanan pengepresan 200 kg/cm<sup>2</sup>, 250 kg/cm<sup>2</sup>, dan 300 kg/cm<sup>2</sup>. 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 ( $E_a$ ) 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.

Patria dkk. (2015) melakukan penelitian tentang pembuatan biobriket dari campuran tempurung kelapa dan cangkang biji karet dengan batu bara peringkat rendah. Limbah pertanian di Indonesia sangat melimpah tetapi tidak dimanfaatkan secara optimal, seperti tempurung dan cangkang biji karet (para). Dengan menggunakan teknologi alternatif maka limbah dapat dimanfaatkan dan bernilai ekonomis sebagai sumber energi alternatif pengganti BBM. Proses pembuatan biobriket pada penelitian ini dengan variabel bebas yaitu suhu karbonisasi 350°C, 400°C, 450°C, dan 500°C dengan komposisi 50% : 50%, 25% : 25% : 50%, 35% : 35% : 30% (campuran arang cangkang, biji karet, dan batubara). Variabel tetap yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu pengeringan 80°C dan perekat 15% dari tiap campuran biobriket. Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan nilai kalor biobriket dengan cara karbonisasi dengan menambahkan batubara.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor yang paling tinggi diperoleh pada variabel suhu karbonisasi 500°C, komposisi campuran arang tempurung, cangkang biji karet dan batubara 25% : 25% : 50% memiliki nilai kalor sebesar 6611 kal/g. Serta untuk uji bakar terbaik adalah campuran arang tempurung, cangkang dan biji karet pada suhu karbonisasi 500°C dengan klasifikasi mudah menyala, api merah kebiruan, dan asap berwarna abu-abu tidak terlalu banyak.

Caroko dkk. (2015) menganalisis karakteristik pembakaran briket campuran limbah kelapa Sawit dengan variasi perekat kanji dan tar. Komposisi campuran kelapa Sawit ini yaitu cangkang kelapa Sawit dan perekat kanji, tar dan campuran kanji, dan tar 10%; tandan kosong dan perekat kanji, tar dan campuran kanji, dan tar 10%; dan serat kelapa Sawit dengan perekat kanji, tar dan campuran kanji, dan tar 10%. Arang hasil pembakaran dihaluskan dan disaring dengan ayakan *mesh* 20 seberat 3 gram dengan tekanan pengepresan 200 kg/cm<sup>2</sup>. Pengujian dilakukan dengan metode *heat flux constant* (HFC) dengan mempertahankan suhu pembakaran pada tungku pembakaran sebesar 300 °C. Hasil pengujian menunjukkan nilai ITVM paling rendah adalah briket dengan perekat tar dibandingkan perekat lainnya, hal ini disebabkan kandungan zat volatil yang tinggi. Semakin tinggi kandungan zat volatil menurunkan nilai ITVM. Pada ITFC diketahui nilai briket tandan kosong memiliki kecenderungan nilai ITFC yang lebih rendah dibandingkan dengan briket bahan baku cangkang dan serat. Nilai ITFC yang rendah pada sampel briket material tandan kosong terjadi karena bahan baku tandan kosong memiliki kadar *volatile matter* yang tinggi, semakin tinggi kadar *volatile matter* maka akan menurunkan nilai ITFC. Pada PT dapat diketahui bahwa briket cangkang Sawit memiliki nilai PT yang tinggi dibandingkan dengan briket arang serat dan tandan kosong. Nilai PT yang tinggi terjadi karena bahan baku cangkang memiliki kadar *fixed carbon* yang tinggi, semakin tinggi kadar *fixed carbon* maka nilai PT akan semakin tinggi. Pada BT, nilai tertinggi ditunjukkan pada briket cangkang Sawit, dikarenakan bahan cangkang Sawit memiliki kadar *fixed carbon* yang tinggi, semakin tinggi *fixed carbon* semakin tinggi pula nilai BT.

Caroko, dkk. (2017) melakukan analisa pengaruh variasi tekanan briket arang tempurung kelapa dengan perekat tepung kanji menggunakan metode *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dan dilakukan analisis proksimat. Bahan baku dari Tempurung Kelapa yang telah diarangkan dengan temperatur akhir 500°C, selanjutnya arang dihancurkan hingga lolos ayakan 20 *mesh*, kemudian ditimbang masing-masing 3 gram dan dicampur bahan perekat kanji dengan komposisi 10%. Serbuk arang yang telah tercampur bahan perekat kemudian dilakukan pembriketan dengan tekanan 200 kg/cm<sup>2</sup>, 250 kg/cm<sup>2</sup>, dan 300 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA) menunjukkan semakin besar tekanan pembriketan biobriket tempurung kelapa maka akan berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran meliputi : turunnya nilai ITVM dan BT, serta naiknya nilai lama pembakaran, ITFC, PT, dan Energi Aktivasi. Dari hasil analisis proksimat semakin besar tekanan pembriketan biobriket tempurung kelapa maka akan berpengaruh terhadap menurunnya kadar air (*moisture*) dan kadar *fixed carbon*, serta meningkatnya kadar *volatile matter* dan kadar abu (*ash*). Hasil pengujian nilai kalor menunjukkan semakin tinggi tekanan pembriketan maka meningkatkan densitas briket, sehingga menurunkan kadar air briket arang tempurung kelapa. Kadar air yang semakin rendah akan mempermudah dalam proses penyalaan briket serta akan menghasilkan nilai kalor yang semakin tinggi.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Biomassa

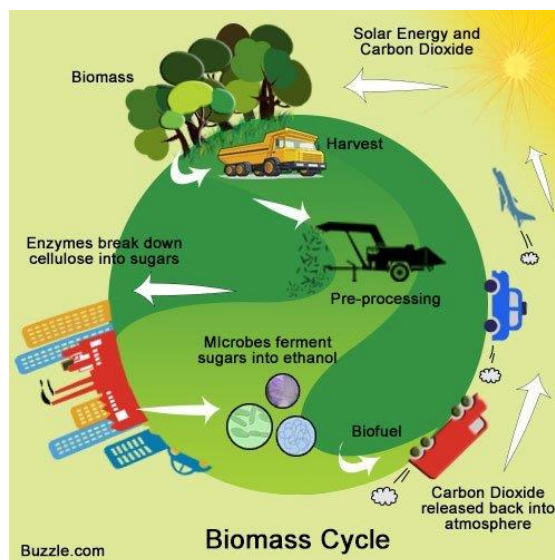
Biomassa adalah sumber bahan bakar yang memanfaatkan suatu limbah benda padat. Biomassa meliputi limbah kayu, limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah hutan, komponen organik dari industri, dan rumah tangga. Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena beberapa sifatnya yang menguntungkan, yaitu sumber energi ini dapat dimanfaatkan secara lestari atau berkelanjutan karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable*), sumber energi ini relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara, dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian

(Syafi'i, 2003). Sedangkan menurut Silalahi (2000) biomassa adalah campuran material organik yang kompleks, biasanya terdiri dari karbohidrat, lemak, protein, dan beberapa mineral antara lain yang jumlahnya sedikit seperti sodium, fosfor, kalsium, dan besi. Komponen utama tanaman biomassa adalah karbohidrat dimana dalam beberapa tanaman komposisinya berbeda-beda. Keuntungan penggunaan biomassa untuk sumber bahan bakar adalah :

1. Dapat dimanfaatkan secara terus-menerus karena dapat diperbarui.
2. Relatif tidak mengandung unsur sulfur, sehingga tidak menyebabkan polusi udara sebagaimana yang terjadi pada bahan bakar fosil.
3. Meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah pertanian, peternakan, dan perkebunan.

Keterbatasan dari biomassa adalah banyaknya kendala dalam penggunaan untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Hal ini karena belum ditemukan teknologi yang dapat memanfaatkan biomassa sebagai bahan bakar kendaraan bermotor.

Potensi biomassa di Indonesia bersumber dari produk limbah kelapa, kelapa sawit, jambu mete, penggilingan padi, kayu, pabrik gula, kakao, dan limbah industri pertanian lainnya.



**Gambar 2.1** Sirkulasi Bimassa

(<https://moonthree.wordpress.com>, 2017)

Teknologi konversi yang dapat digunakan untuk mengubah kualitas biomassa dibagi menjadi tiga yaitu (Yokoyama, 2008) :

- a. Konversi fisika bertujuan meningkatkan luas permukaan dengan cara penggerusan, penggerindaan, dan pengukusan. Proses yang juga dilakukan ialah pemisahan, ekstraksi, penyulingan dan sebagainya untuk menghasilkan bahan berguna dari biomassa, serta proses pemampatan, pengeringan atau kontrol kelembaban yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses pengangkutan dan penyimpanan. Konversi fisika dilakukan untuk pendahuluan agar mempercepat proses utama.
- b. Konversi kimia bertujuan untuk membangun partikel baru dari densifikasi biomassa, dilakukan dengan cara : hidrolisis, pembakaran, oksidasi parsial pirolisis, karbonisasi, reaksi hidrotermal untuk penguraian biomassa, sintesis, polimerisasi, dan hidrogenasi.
- c. Konversi biologi secara umum terdiri dari proses fermentasi antara lain fermentasi etanol, fermentasi metana, fermentasi *aseton-butanol*, fermentasi hidrogen, dan perlakuan enzimatik yang berperan penting pada penggunaan bioetanol generasi kedua. Aplikasi proses fotosintesis dan fotolisis bertujuan untuk memperbaiki sistem biomassa menjadi lebih baik.

### **2.2.2 Densifikasi Biomassa**

Secara keseluruhan biomassa memiliki nilai densitas yang sangat rendah, sehingga menimbulkan kendala dalam proses penanganannya. Proses densifikasi biomassa bertujuan untuk menaikkan densitas dengan mengkonversi bentuk menjadi bahan bakar padat, sehingga mempermudah dalam persoalan pengangkutan dan penyimpanan.



Secara umum densifikasi biomassa mempunyai beberapa keuntungan (Bhattacharya dkk, 1996) :

- Menaikkan nilai kalor per unit *volume*.
- Mudah disimpan dan diangkut.
- Mempunyai kualitas dan ukuran yang seragam.

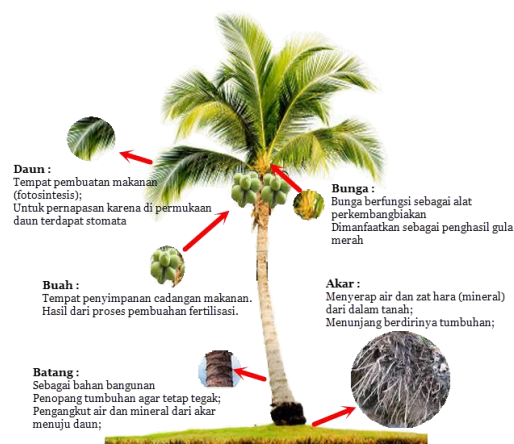
Densifikasi biomassa merupakan teknologi untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar. Teknologi ini dapat membantu dalam memperluas penggunaan biomassa dalam produk energi, karena densifikasi meningkatkan nilai kalor volumetrik bahan bakar, mengurangi biaya transportasi, dan dapat membantu dalam meningkatkan ketersediaan bahan bakar di daerah pedesaan.

Pembriketan dapat dibagi menjadi tiga (Grover dan Mishara, 1996) yaitu :

- Pembriketan tekanan tinggi.
- Pembriketan dengan tekanan *medium* dengan pemanas.
- Pembriketan tekanan rendah dengan bahan pengikat (*binder*).

### 2.2.3 Tempurung Kelapa

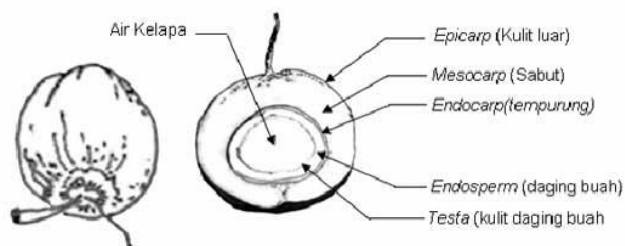
Kelapa (*Cocos nucifera*) termasuk dalam marga *Cocos* dari suku aren-arenan atau *Arecaceae*. Hampir semua bagian dari pohon kelapa dapat dimanfaatkan oleh manusia sehingga dianggap sebagai tumbuhan serbaguna.



**Gambar 2.2** Bagian-bagian dan manfaat pohon kelapa

(<https://dhimposted.wordpress.com>, 2017)

Tempurung kelapa merupakan lapisan keras yang terletak dibagian dalam buah kelapa setelah sabut. Tempurung kelapa memiliki ketebalan antara 3 mm sampai dengan 5 mm. Sifatnya yang keras disebabkan oleh banyaknya kandungan silikat ( $\text{SiO}_2$ ) yang terdapat pada tempurung tersebut. Dari berat total buah kelapa, 15% sampai 19% diantaranya merupakan berat tempurung.



**Gambar 2.3** Susunan lapisan buah kelapa

(<http://kaltim.litbang.pertanian.go.id>, 2017)

Selain itu tempurung kelapa juga banyak mengandung *lignin*. Sedangkan kandungan *methoxyl* dalam tempurung hampir sama dengan yang terdapat dalam kayu.

**Tabel 2.1** Komposisi kimia tempurung kelapa

(Suhardiyono, 2007 dalam Suryani dkk, 2012)

No	Komponen	Persentase (%)
1	Lignin	29,4
2	Abu	0,6
3	Nitrogen	0,1
4	Air	8,0

**Table 2.2** Contoh komposisi buah kelapa (Yuwono, 2016)

No	Daging buah (buah tua)	Jumlah berat (%)
1	Sabut	35
2	Tempurung	12
3	Daging buah	28
4	Air kelapa	25

**Table 2.3** Contoh analisis *ultimate* tempurung kelapa  
(Najib dan Darsopuspito, 2012)

No	Analisis <i>Ultimate</i>	Berat (%)
1	<i>Carbon (C)</i>	47,89
2	<i>Hydrogen (H)</i>	6,09
3	<i>Oxygen (O)</i>	45,75
4	<i>Nitrogen (N)</i>	0,22
5	<i>Sulfur (S)</i>	0,05

**Table 2.4** Contoh analisis *proximate* tempurung kelapa  
(Najib dan Darsopuspito, 2012)

No	Analisis <i>Proximate</i>	Berat (%)
1	<i>Volatile matter</i>	68,82
2	<i>Moisture</i>	6,51
3	<i>Ash</i>	7,56
4	<i>Fixed Carbon</i>	17,11

Pada umumnya nilai kalor yang terkandung dalam tempurung kelapa berkisar antara 18.200 kJ/kg hingga 19.338,05 kJ/kg (Palungkun, 1999 dalam Ndraha, 2010).

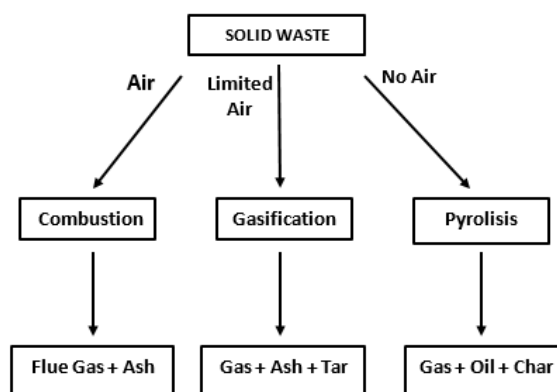
#### 2.2.4 Pirolisis

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis. Secara definisi pirolisis adalah proses terhadap suatu bahan organik dengan menambahkan temperatur yang tinggi tanpa kehadiran udara khususnya oksigen. Proses pirolisis dilakukan tanpa oksigen, dengan kata lain proses ini menggunakan teknik pembakaran tidak sempurna untuk menghasilkan arang. Kualitas produk tergantung pada beberapa faktor termasuk komposisi bahan baku dan proses parameter. Tujuan pirolisis untuk menghasilkan produk utama berupa padatan

(arang), dan juga menghasilkan produk samping berupa cairan (tar) dan *syngas* (gas). Produk-produk tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar.

Besarnya produk yang dihasilkan dipengaruhi kondisi proses, terutama temperatur dan laju pemanasan.

Perbedaan utama antara proses pirolisis, gasifikasi, dan insinerasi terdapat pada jumlah suplai oksigen ke reaktor termal. Hal ini dapat dilihat dari skema ketiga teknik pengolahan limbah tersebut pada gambar 2.4 berikut :



**Gambar 2.4.** Proses karakterisasi insinerasi, gasifikasi, dan pirolisis  
(Williams, 2005)

Berdasarkan laju pemanasan dan temperatur, proses pirolisis dapat dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu (Basu, 2010) :

a. Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*)

Secara tradisional, pirolisis lambat proses yang umum digunakan untuk menghasilkan produk arang. Waktu pirolisis yang singkat saat proses pembakaran biomassa pada temperatur medium ( $300^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ ) mampu menghasilkan arang dengan persentase massa yang besar.

b. Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolysis*)

Proses pirolisis cepat dilakukan dengan suhu pirolisis adalah sekitar  $500^{\circ}\text{C}$  dan ditandai dengan tingkat pemanasan tinggi (misalnya  $1000^{\circ}\text{C/s}$ ). Dalam kondisi tersebut, tar menjadi produk utama yang dihasilkan sekitar 60 - 70% yang dapat dicapai dari bahan baku biomassa, 15 - 25% hasil dari arang dan sisanya 10 - 15% berat adalah *syngas* (gas). Tar sebagai produk utama

dalam proses pirolisis cepat dapat digunakan sebagai asap cair atau digunakan sebagai perekat pada bahan bakar padat.

c. Pirolisis Kilat (*Flash Pyrolysis*)

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik dengan temperatur pemanasan yang sangat tinggi. Pirolisis kilat pada bahan bakar padat membutuhkan pemanasan yang sangat cepat dan ukuran partikel bahan bakar yang kecil sekitar 105 - 150  $\mu\text{m}$ .

**Tabel 2.5.** Perbedaan indikator tipe pirolisis (Demirbas, 2004)

INDIKATOR	Pirolisa Konvensional	Pirolisa Cepat	Pirolisa Kilat
Temperatur Pirolisa (Pyrolysis temperature-K)	550 - 950	850 - 1250	1050 - 1300
Laju Pemanasan (Heating rate-K/s)	0.1-1	10-200	>1000
Ukuran partikel (Particle size-mm)	5-50	<1	<0.2
Waktu tinggal (Solid residence time-s)	450-550	0.5-10	<0.5

### 2.2.5 Bahan Perekat

Fungsi perekat adalah menyatukan antara dua benda agar saling berikatan melalui ikatan permukaan. Bahan perekat umumnya dapat dibedakan menjadi 3 jenis (Caroko, 2015) :

a. Bahan Perekat Anorganik

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

b. Bahan Perekat Organik

Bahan perekat organik, pada pemanfaatannya menggunakan jumlah perekat yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan bahan perekat *hydrocarbon*.

Kerugian penggunaan bahan perekat organik adalah ketahanan arang cetak yang dihasilkan kurang tahan terhadap kelembaban.

c. Bahan Perekat *Hydrocarbon*

Bahan perekat *hydrocarbon* biasanya digunakan pada pembuatan arang cetak atau batubara cetak sebagai perekat.

Tapioka, tepung kanji atau tepung singkong adalah tepung yang dihasilkan dari olahan umbi akar ketela pohon atau singkong. Tapioka memiliki sifat yang sejenis dengan tepung sagu, sehingga penggunaan keduanya dapat dipertukarkan. Bahan ini umum digunakan untuk pembuatan makanan dan bahan perekat. Salah satu penggunaan tapioka sebagai bahan perekat digunakan pada pembuatan briket (<http://id.wikipedi.org>, 2017).



**Gambar 2.5.** Tepung kanji (<http://www.kerjanya.net>, 2017)

Menurut Sulistyanto (2006) keuntungan penggunaan perekat tapioka antara lain : Harga yang relatif murah, mudah didapatkan, dan pemakaiannya menghasilkan kekuatan rekat kering yang tinggi. Sedangkan kerugiannya antara lain : ketahanan terhadap air yang rendah untuk perekatan awal sehingga bersifat sementara (dalam kayu lapis), mudah berjamur, dan mudah diserang bakteri dan binatang pemakan tapioka.

### 2.2.6 Pembriketan Arang

Pembriketan adalah metode untuk mengubah material dengan densitas rendah menjadi material dengan densitas tinggi dengan mengkonversi bentuk menjadi bahan bakar padat. Tujuan pembriketan untuk menyeragamkan bentuk bahan bakar padat sehingga memiliki nilai karakteristik yang seragam. Briket memiliki sifat-sifat yang mempengaruhi kualitas bahan bakar. Sifat-sifat briket yaitu sifat fisis dan kimia. Sifat fisis meliputi ukuran briket, karakteristik briket, densitas, kandungan air, dan nilai kalor.

Manfaat pembriketan bahan bakar padat biomassa antara lain :

- a. Selama proses penyalaan dan pembakaran, briket sangat sedikit menghasilkan asap.
- b. Minim kadar abu yang terbentuk (kurang dari 5% dari massa briket).
- c. Nilai kalor per unit *volume* meningkat.
- d. Meminimalisir bau yang ditimbulkan briket karena mengandung zat mudah menguap.
- e. Memudahkan pengangkutan dan penyimpanan.
- f. Briket tidak cepat habis terbakar.
- g. Mampu mengatasi masalah pembuangan limbah padat.

Pada umumnya teknik pembriketan dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok berdasarkan pada besar tekanan briket (Grover dan Mishra, 1996) yaitu:

- a. Pembriketan tekanan tinggi ( $1000 - 2500 \text{ kg/cm}^2$ ).
- b. Pembriketan tekanan medium ( $500 - 1000 \text{ kg/cm}^2$ ) dengan pemanas.
- c. Pembriketan tekanan rendah ( $250 - 500 \text{ kg/cm}^2$ ) dengan *binder* atau perekat.

### 2.2.7 Pembakaran

Pembakaran adalah proses oksidasi yang menghasilkan kalor dan cahaya cepat disertai dengan produksi panas, atau panas dengan cahaya. Pelepasan kalor pada bahan bakar ketika proses oksidasi, kandungan unsur

karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen akan bereaksi dengan udara dan oksigen.

Jumlah suplai udara yang dibutuhkan secara ideal setiap bahan bakar berbeda dan memiliki spesifikasi campuran udara yang berbeda pula. Pada kondisi ideal proses pembakaran dapat terjadi apabila jumlah bahan bakar dan udara pada proporsi tertentu, yang berdasarkan prinsip kimia (stoikiometrik). Namun faktanya campuran bahan bakar dengan udara di dalam *furnace* (ruang bakar) sangat mustahil untuk mencapai kondisi sempurna. Oleh karena itu, dibutuhkan adanya *excess air* yang disuplai ke dalam proses pembakaran untuk memastikan terjadinya pembakaran yang sempurna. Jumlah dari *excess air* tergantung dari bahan bakar yang digunakan pada proses pembakaran. Proses pembakaran sempurna dapat terlihat pada gambar 2.6 berikut :



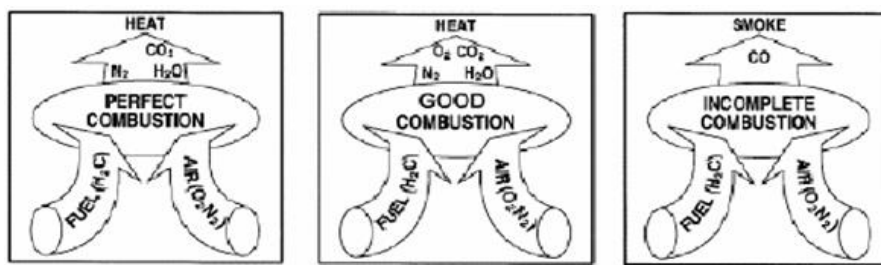
**Gambar 2.6.** Skema segitiga pembakaran sempurna  
(<http://fire-training.com.au>, 2016)

### 2.2.8 Tujuan Pembakaran

Sebagai syarat untuk mendapatkan pembakaran sempurna, tujuan pembakaran untuk melepas seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Tujuan pembakaran ini dikenal dengan istilah “3T” yang dilakukan sebagai pengontrol pembakaran. “3T” ini yaitu :

- a. *Temperature*, Suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar.
- b. *Turbulence*, pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik.
- c. *Time*, waktu yang cukup untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna.





**Gambar 2.7.** Pembakaran sempurna, baik dan tidak sempurna  
(Bureau of Energy Efficiency, 2004)

Diketahui dari gambar 2.7 di atas, bahwa pembakaran sempurna dapat terjadi apabila senyawa C, H, dan S yang terdapat dalam bahan bakar membentuk gas CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan SO<sub>4</sub> sehingga tidak ada sisa dari pembakaran. Sedangkan pembakaran tidak sempurna akan lebih banyak menghasilkan gas CO karena kurangnya suplai oksigen saat pembakaran.

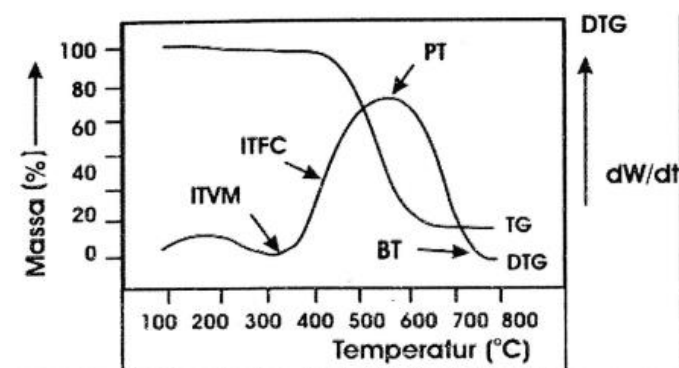
### 2.2.9 Pembakaran Bahan Bakar Padat

Pembakaran adalah urutan reaksi eksotermik antara bahan bakar dan oksidan (senyawa kimia yang mudah mentransfer atom oksigen) disertai dengan produksi panas dan konversi komponen kimia, reaksi ini bertujuan untuk melepas energi dari bahan bakar dengan menghasilkan panas dan cahaya. Proses pembakaran briket berlangsung secara lambat karena kerapatan (*density*) briket. Semakin besar kerapatan (*density*) briket, semakin lambat laju pembakaran dan semakin besar nilai kalor yang dihasilkan.

Pembakaran briket berlangsung secara perambatan dimana bagian luar briket akan terbakar lebih awal dan menghasilkan abu. Ketika abu semakin banyak dan tidak terurai, maka abu akan menghambat proses pencampuran antara udara dengan arang yang belum terbakar di bagian dalam briket. Hal ini mempengaruhi laju pembakaran briket, semakin rendah laju pembakaran briket semakin rendah nilai kalor yang dihasilkan.

Othman dan Shamsuddin (2003) melakukan penelitian tentang pembakaran batubara dengan metode *thermogravimetri analysis*. Batubara yang digunakan adalah *Blair Athol* (Batubara Australia), *Merit Pila* (Batubara

Malaysia), dan Tnito Harum (Batubara Indonesia). Penelitian dengan metode *thermogravimetric* diawali dari temperatur ruangan mencapai  $1000^{\circ}\text{C}$ . Data turunan *thermogravimetric* kemudian dianalisis dengan menggunakan persamaan reaksi *Arrhenius* orde pertama. Data dari sistem *thermobalance* kemudian diplotkan kedalam grafik hubungan temperatur dengan laju penurunan massa seperti terlihat di gambar 2.8 berikut.



**Gambar 2.8.** Grafik hubungan temperatur dengan laju penurunan massa  
(Othman, N. F., 2003)

Dari gambar 2.8 di atas tersebut, tiap tahap pembakaran dinotasikan dengan titik untuk mengetahui proses pembakaran. Titik ini dinyatakan dengan:

- a. ITVM (*Initiation Tempertaure of Volatile Matter*) adalah temperatur dimana *volatile matter* mulai keluar atau terlepas yang ditandai dengan penurunan massa yang meningkat. ITVM ditandai pada zona dimana laju pengurangan massa sedikit turun kemudian meningkat dengan cepat.
- b. ITFC (*Initiation Temperature of Fixed Carbon*) adalah adalah temperatur dimana terjadi pengurangan massa terbesar yang ditandai titik tertinggi dari grafik penurunan massa.
- 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. BT (*Burning out Temperature*) adalah temperatur sampel dimana laju pengurangan massa berlangsung lambat dan cenderung stabil yang ditandai dengan kurva yang sedikit mendatar.

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

a. Pengeringan (*drying*)

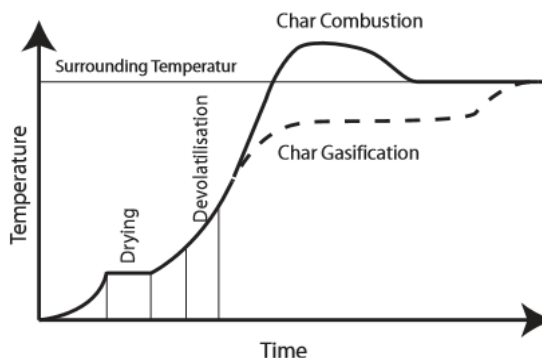
Pengeringan adalah proses dimana bahan bakar mengalami kenaikan temperatur yang menyebabkan kadar air yang terkandung pada bagian luar sampel menguap, sedangkan kadar air yang berada di bagian dalam sampel akan menguap melalui celah kecil atau pori-pori dari sampel tersebut.

b. Devolatilisasi (*devolatilization*)

Devolatilisasi adalah tahapan saat sampel mulai terurai atau terdekomposisi, yaitu terpisahnya ikatan kimia secara termal dan zat *volatile matter* akan keluar dari partikel. Proses devolatilisasi ini akan menghasilkan zat *volatile matter*.

c. Pembakaran arang (*char combustion*)

Pada proses ini, sampel akan menghasilkan sisa dari pembakaran berupa arang (*fixed carbon*) dan abu, lalu partikel pada sampel akan melewati proses oksidasi yang membutuhkan 70% - 80% dari total waktu pembakaran. Laju pembakaran arang tergantung pada konsentrasi oksigen, temperatur gas, bilangan *Reynolds*, ukuran dan porositas arang. Arang mempunyai porositas yang tinggi. Laju reaksi global dirumuskan dengan istilah laju reaksi massa arang per satuan luas permukaan luar dan per satuan konsentrasi oksigen di luar lapisan batas partikel. Reaksi global ini dapat dituliskan sebagai berikut :  $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$  (a) dimana permukaan karbon juga bereaksi dengan karbondioksida dan uap air dengan reaksi reduksi sebagai berikut :  $C + CO_2 \rightarrow 2CO$  (b)  $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$  (c) Reaksi reduksi (b) dan (c) secara umum lebih lambat daripada reaksi oksidasi (a), dan untuk pembakaran biasanya hanya reaksi (a) yang diperhitungkan.



**Gambar 2.9.** Grafik mekanisme pembakaran (Thunman dan Leckner, 2007 dalam Caroko, 2015 )

### 2.2.10 Faktor Yang Mempengaruhi Pembakaran Bahan Bakar Padat

Berikut beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat (briket) yaitu:

a. Ukuran partikel

Semakin kecil ukuran partikel semakin cepat pula bahan bakar tersebut terbakar, karena ukuran partikel yang kecil menyebabkan luas permukaan bahan bakar yang besar.

b. Kecepatan aliran udara

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

c. Jenis bahan bakar

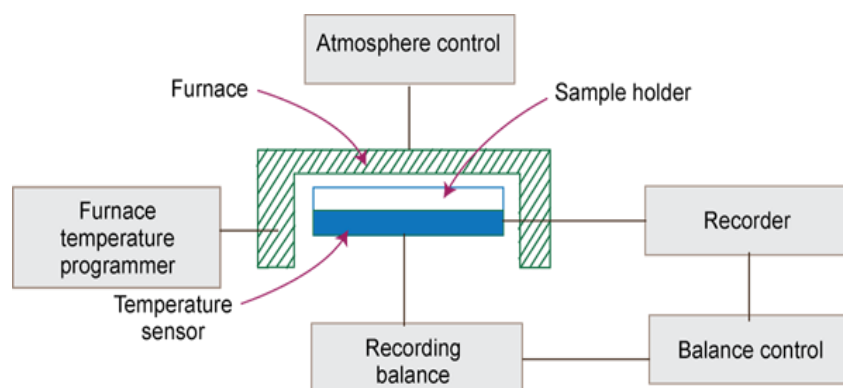
Setiap jenis bahan bakar memiliki karakteristik yang berbeda. Karakteristik bahan bakar antara lain: kandungan *volatile matter* dan *moisture*. Semakin banyak bahan bakar mengandung *volatile matter* semakin cepat bahan bakar tersebut menyala.

d. Temperatur udara pembakaran

Semakin tinggi temperatur udara dalam pembakaran semakin cepat bahan bakar tersebut terbakar. Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendek waktu pembakaran.

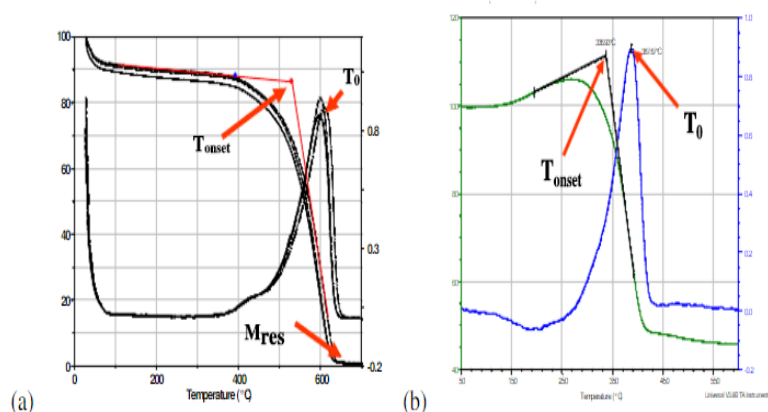
### 2.2.11 Thermogravimetric Analysis (TGA)

*Thermogravimetric Analysis* (TGA) adalah metode untuk menganalisis stabilitas termal dan komponen zat *volatile matter* dengan merekam laju penurunan massa selama sampel diberi perlakuan panas. Metode ini biasa dilakukan dalam lingkungan oksidatif (udara atau oksigen bercampur) dengan gas *inert* seperti helium dan argon. Laju penurunan massa dicatat sebagai fungsi dari meningkatnya suhu. Selain itu, TGA juga digunakan untuk memantau energi yang dilepas atau diserap saat proses pemanasan. Instrumentasi yang mengukur laju penurunan massa pada sampel di dalam sebuah ruang bakar dengan *thermocontroller* disebut *thermobalance*. Skema *thermobalance* dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut:



**Gambar 2.10.** Skema *thermobalance* (<http://nptel.ac.in>, 2016)

Dalam beberapa kasus, analisis TGA dilakukan dalam kondisi oksidatif (oksigen dan campuran gas *inert*). 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 ( $T_o$ ). Definisi keambiguan dari kadar abu ( $M_{res}$ ) dan suhu oksidasi ( $T_o$ ) dapat dilihat gambar 2.11 berikut:

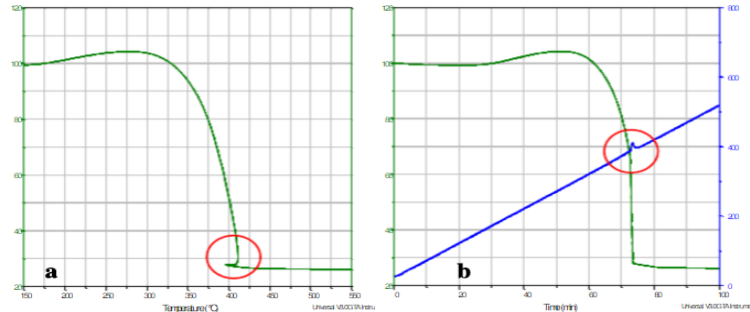


**Gambar 2.11.** (a) Grafik TGA murni dan (b) Grafik ilustrasi keambiguan penentuan  $T_{onset}$  (*Practice Guide Section TGA*)

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  $T_o = dm/dT_{max}$  banyak diminati, pertama karena inisiasi laju penurunan massa berjalan secara bertahap (di atas temperatur 100 °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.

Terdapat keanehan dari hasil pengamatan TGA dimana grafik penurunan massa berbalik pada absis dan kembali seperti semula. Fenomena tersebut akan mudah dijelaskan apabila grafik penurunan massa dan temperatur diplotkan terhadap waktu. Pada grafik terlihat jelas meskipun mengalami penurunan massa yang tajam namun secara bersamaan terjadi fluktuasi dan kembali linier. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan terjadinya pembakaran pada sampel dan melepaskan sebagian besar kalor secara tiba-tiba

dan mengakibatkan kenaikan temperatur secara tajam diiringi hilangnya kalor dan turunnya temperatur.



**Gambar 2.12.** Keambiguan TGA (a) Grafik “backward” pada TGA (b) Kenaikan temperatur akibat pembakaran (*Practice Guide Section TGA*)

**2.2.12 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. Besarnya nilai kalor dapat dirumuskan pada persamaan 2.1 berikut ini :

$$HHV = \frac{(EE \times \Delta T) - (Acid) - (Fulse)}{Massa\ Bahan} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

- HHV = *Highest Heating Value* (kal/gram)
- Acid = Sisa abu 10 kal/gram
- Fulse = Panjang kawat yang terbakar = 1 cm =1 kal/gram
- ΔT = Selisih Suhu (°C)
- EE = 2401,459 kal/gram

### 2.2.13 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.

a. Kadar air (*moisture content*)

Kadar air biobriket adalah kandungan air (H<sub>2</sub>O) yang terkandung dalam suatu bahan bakar padat dan merupakan perbandingan massa kandungan air dalam biobriket dengan massa kering tanur dari biobriket setelah dikarbonisasi. 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.

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 104°C – 110°C selama satu jam.



b. 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 (CH<sub>4</sub>), tetapi kadang-kadang terdapat juga gas-gas yang tidak terbakar seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. 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%.

c. 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 (SiO<sub>2</sub>), Kalsium (Ca), serta Magnesium Oksida (MgO) dan lain-lain. Banyaknya kandungan Silika dapat menyebabkan penurunan kandungan kualitas nilai kalor yang dihasilkan.

d. 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.

#### 2.2.14 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.

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.