

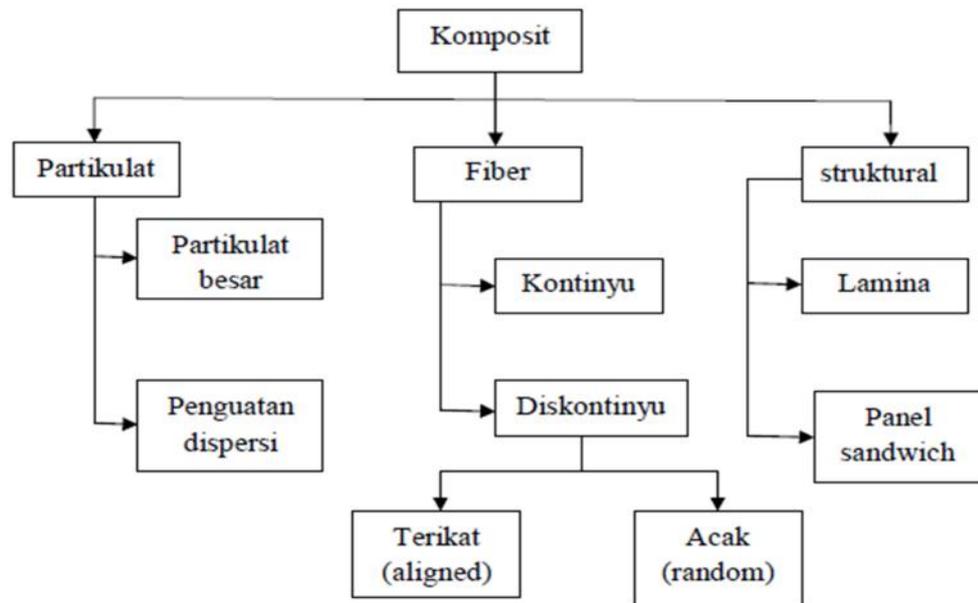
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Material Komposit

Material komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari pada logam, memiliki kekuatan bisa diatur yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength/weight*) dan kekakuan jenis (*modulus Young/density*) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara, serta dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi (Sirait, 2010).

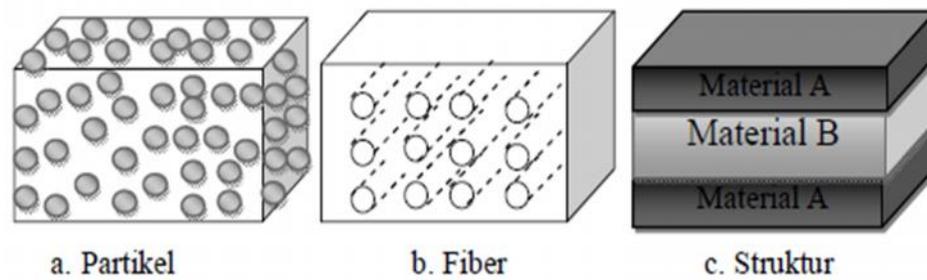
Penjelasan lain tentang komposit juga diutarakan (Van Rijswijk, M.Sc, dkk, 2001), dalam bukunya *Natural Fibre Composites*, komposit adalah bahan hibrida yang terbuat dari resin polimer diperkuat dengan serat, menggabungkan sifat-sifat mekanik dan fisik. Komposit merupakan gabungan material multifasa yang memiliki interface makroskopis yang dapat dibedakan secara makro dan memiliki sifat-sifat yang merupakan penggabungan sifat

positif material penyusunnya. Komposit berdasarkan jenis penguatnya dibagi menjadi 3 macam yaitu komposit partikulat, komposit fiber dan komposit structural, dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Pembagian komposit berdasarkan jenis penguat (widyastuti, 2009).

Berdasarkan sifat penguatnya, komposit dibagi menjadi dua yaitu komposit isotropik dan anisotropik. Komposit isotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan yang sama untuk berbagai arah (baik dalam arah transversal maupun longitudinal) sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama. Sebaliknya komposit anisotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan tidak sama terhadap arah yang berbeda, sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang tidak sama (baik arah transversal maupun longitudinal). Seperti diilustrasikan pada gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya (Agus, 2008).

Ada tiga faktor yang menentukan sifat-sifat dari material komposit, yaitu:

1. Material pembentuk. Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya .
2. Susunan struktural komponen. Dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.
3. Interaksi antar komponen. Karena komposit merupakan campuran atau kombinasi komponen-komponen yang berbeda baik dalam hal bahannya maupun bentuknya, maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda (Sirait, 2010).

Secara umum material komposit tersusun dari dua komponen utama yaitu matrik (bahan pengikat) dan filler (bahan pengisi). Filler adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. (Gibson, 1984) mengatakan bahwa matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matrik secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit.

## 1. Klasifikasi Material Komposit

Berdasarkan bahan penguat, material komposit dapat diklasifikasikan menjadi komposit serat, komposit lamina, komposit partikel dan komposit serpihan.

### a. Komposit serat (*fiber composite*)

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Serat yang digunakan biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat aramid dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

Bila peningkatan kekuatan menjadi tujuan utama, komponen penguat harus mempunyai rasio aspek yang besar, yaitu rasio panjang terhadap diameter harus tinggi, agar beban ditransfer melewati titik dimana mungkin terjadi perpatahan (Vlack L. H., 2004).

Tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dari pada matrik penyusun komposit (Vlack L. H., 1985).

Bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu komposit partikel (*particulate composite*) dan komposit serat (*fiber composite*). Bahan komposit partikel terdiri dari partikel yang diikat matrik. Komposit serat ada dua macam, yaitu serat pendek (*short fiber* atau *whisker*) dan serat panjang (*continous fiber*).

1. Komposit serat pendek (*short fiber composite*)

Berdasarkan arah orientasi material komposit yang diperkuat dengan serat pendek dapat dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu serat acak (*inplane random orientation*) dan serat satu arah.

Tipe serat acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

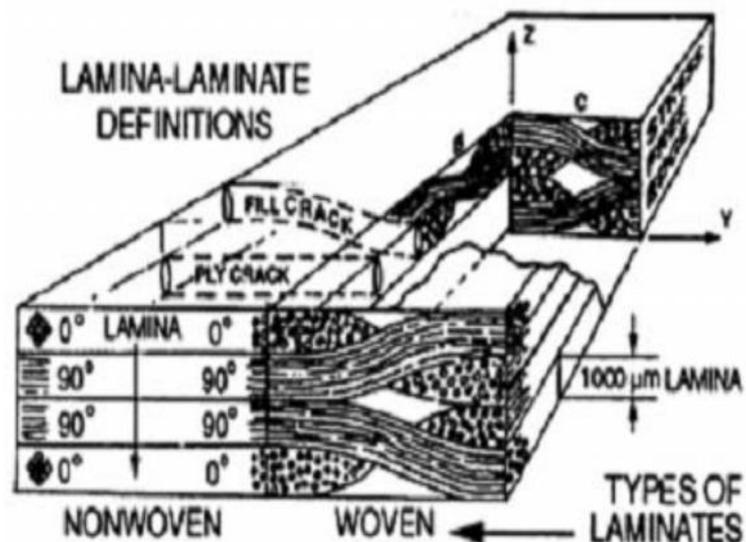
2. Komposit serat panjang (*long fiber composite*)

Keistimewaan komposit serat panjang adalah lebih mudah diorientasikan, jika dibandingkan dengan serat pendek. Secara teoritis serat panjang dapat menyalurkan pembebanan atau tegangan dari suatu titik pemakaiannya. Perbedaan serat panjang dan serat pendek yaitu serat pendek dibebani secara tidak langsung atau kelemahan matrik akan menentukan sifat dari produk komposit tersebut yakni jauh lebih kecil dibandingkan dengan

besaran yang terdapat pada serat panjang yang rendah agar masalah dispersi dapat dikurangi dan untuk menghemat jumlah serat penguat. Serat yang sangat kuat akan memaksimalkan pembagi dan tentunya sangat membantu. Jadi suatu matrik dengan kecenderungan pengerasan regangan kuat memerlukan fraksi volume serat yang relative banyak (Smallman, 2000).

### b. Komposit Laminat (*laminated composite*)

Komposit Laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus. Komposit laminat ini terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat *hybrid*, dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Mikrostruktur lamina (Widodo, 2008).

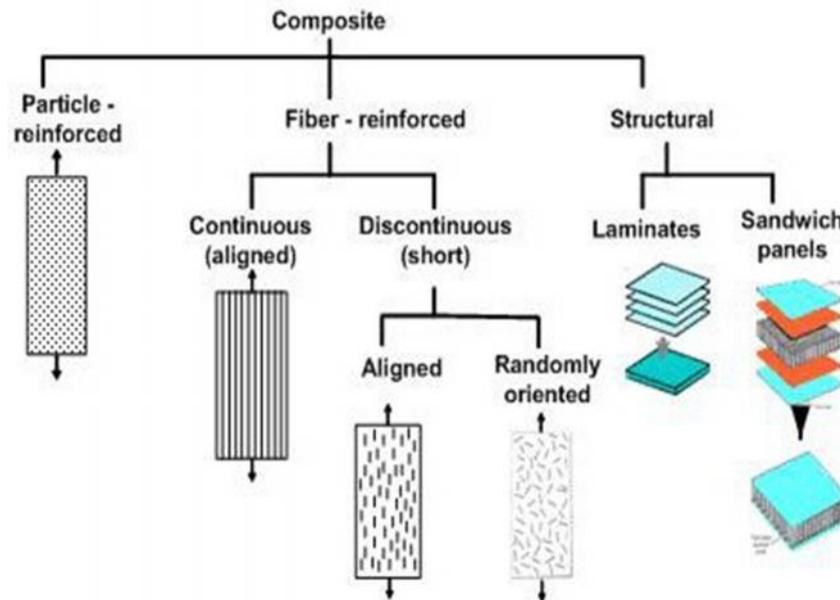
**c. Komposit Partikel (*particulated composite*)**

Komposit Partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matrik. Komposit yang terdiri dari partikel dan matrik yaitu butiran (batu, pasir) yang diperkuat semen yang kita jumpai sebagai beton, senyawa kompleks ke dalam senyawa kompleks. Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama dengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator dan lain-lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh tegangan koheren di antara fase partikel dan matrik yang menunjukkan sambungan yang baik.

**d. Komposit serpihan (*flake composite*)**

Komposit serpihan terdiri atas serpihan-serpihan yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan ke dalam matrik. Pengertian dari serpihan adalah partikel kecil yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang khusus dengan orientasi serat sejajar permukaannya. Sifat-sifat khusus yang dapat diperoleh dari serpihan adalah bentuknya besar dan datar sehingga dapat disusun dengan rapat untuk menghasilkan suatu bahan penguat yang tinggi untuk luas penampang lintang tertentu. Pada umumnya serpihan-serpihan saling tumpang tindih pada suatu komposit sehingga dapat membentuk lintasan fluida ataupun uap yang dapat mengurangi

kerusakan mekanis karena penetrasi atau perembesan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Bagan klasifikasi komposit (Ramatawa, 2008)

## 2. Unsur-unsur utama pembentuk komposit *Fiber Reinforced Plastics* (FRP)

*Fiber Reinforced Plastics* (FRP) mempunyai dua unsur bahan yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat yang disebut dengan matrik. Unsur utama dari bahan komposit adalah serat, serat inilah yang menentukan karakteristik suatu bahan seperti kekuatan, keuletan, kekakuan dan sifat mekanik yang lain. Serat menahan sebagian besar gaya yang bekerja pada material komposit, sedangkan matrik mengikat serat, melindungi dan meneruskan gaya antar serat (Van Vlack, 2005).

Secara prinsip, komposit dapat tersusun dari berbagai kombinasi dua atau lebih bahan, baik bahan logam, bahan organik, maupun bahan non organik. Namun demikian bentuk dari unsur-unsur pokok bahan komposit adalah *fibers, particles, leminae or layers, flakes fillers and matrix*. Matrik sering disebut unsur pokok *body*, karena sebagian besar terdiri dari matrik yang melengkap komposit (Van Vlack, 2005).

#### **a. Serat**

Serat atau *fiber* dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Triyono & Diharjo, 2000).

Selain itu serat (*fiber*) juga merupakan unsur yang terpenting, karena seratlal nantinya yang akan menentukan sifat mekanik komposit tersebut seperti kekakuan, keuletan, kekuatan dsb. Fungsi utama dari serat adalah:

1. Sebagai pembawa beban. Dalam struktur komposit 70%-90% beban dibawa oleh serat.
2. Memberikan sifat kekakuan, kekuatan, stabilitas panas dan sifat-sifat lain dalam komposit.

3. Memberikan insulasi kelistrikan (konduktivitas) pada komposit, tetapi ini tergantung dari serat yang digunakan.

#### **b. Matrik**

Menurut (Gibson, 1994), bahwa matrik dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Syarat pokok matrik yang digunakan dalam komposit adalah matrik harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat.

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

1. Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang *ductilen* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat.
2. Matrik, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.

Pada material komposit sifat unsur pendukungnya masih terlihat dengan jelas, sedangkan pada *alloy* paduan sudah tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya. Salah satu keunggulan dari material komposit bila dibandingkan dengan material lainnya adalah penggabungan unsur-unsur yang unggul dari masing-masing unsur pembentuknya tersebut. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada masing-masing material penyusunnya. Sifat-sifat yang dapat diperbaharui (Jones,1975). antara lain :

- a. kekuatan (*strength*).
- b. ketahanan korosi (*Corrosion resistance*).
- c. ketahanan gesek/aus (*Wear resistance*).
- d. berat (*Weight*).
- e. ketahanan lelah (*Fatigue life*).
- f. Meningkatkan konduktivitas panas.
- g. Tahan lama.

Secara alami kemampuan tersebut, tidak ada semua pada waktu yang bersamaan (Jones, 1975). Sekarang ini perkembangan teknologi komposit mulai berkembang dengan pesat. Komposit sekarang ini digunakan dalam berbagai variasi komponen antara lain untuk otomotif, pesawat terbang, pesawat luar angkasa, kapal dan alat-alat olah raga seperti ski, golf, raket tenis dan lain-lain, Pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik. Umumnya matrik dipilih yang mempunyai ketahanan panas yang tinggi (Triyono & Diharjo, 2000).

Matrik yang digunakan dalam komposit adalah harus mampu meneruskan beban sehingga serat harus bisa melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik artinya tidak ada reaksi yang mengganggu. Menurut Diharjo, pada bahan komposit matrik mempunyai kegunaan yaitu sebagai berikut :

1. Matrik memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
2. Pada saat pembebanan, merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsur utamanya yaitu serat.

3. Memberikan sifat tertentu, misalnya *ductility*, *toughness* dan *electrical insulation*.

## **B. Abu Terbang Batubara**

Saat ini penggunaan batubara di kalangan industri semakin meningkat, karena selain harga yang relatif murah juga harga bahan bakar minyak untuk industri cenderung naik. Penggunaan batubara sebagai sumber energi pengganti BBM, disatu sisi sangat menguntungkan namun disisi lain menimbulkan masalah, yaitu abu batubara yang merupakan hasil samping pembakaran batubara. Dari sejumlah pemakaian batubara akan dihasilkan abu batubara sekitar 2-10 % (tergantung jenis batubaranya, *low calory* atau *high calory*). Sampai saat ini pengelolaan limbah abu batubara oleh kalangan industri hanya ditimbun dalam areal pabrik saja (*ash disposal*).

Abu batubara adalah bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf dan abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (*mineral matter*) karena proses pembakaran. Dari proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 10-20 % abu dasar, sedang sisanya sekitar 80-90 % berupa abu terbang. Abu terbang ditangkap dengan *electric precipitator* sebelum dibuang ke udara melalui cerobong.

Menurut ACI Committee 226, dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5-27 % dengan *specific gravity* antara 2,15-2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Abu batubara mengandung silika dan alumina sekitar 80% dengan sebagian silika berbentuk amorf. Sifat-sifat fisik abu batubara antara lain densitasnya  $2,23 \text{ gr/cm}^3$ , kadar air sekitar 4% dan komposisi mineral yang dominan adalah -kuarsa dan mullite. Selain itu abu batubara mengandung  $\text{SiO}_2 = 58,75\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 25,82\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,30\%$   $\text{CaO} = 4,66\%$ , alkali =  $1,36\%$ ,  $\text{MgO} = 3,30\%$  dan bahan lainnya =  $0,81\%$  (Misbachul Munir ,2008). Beberapa logam berat yang terkandung dalam abu batubara seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), chrom (Cr).

*Fly ash* merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan oleh industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk proses produksinya. *Fly ash* memiliki sifat sebagai pozzolan, yaitu suatu bahan yang mengandung silika atau alumina silika yang tidak mempunyai sifat perekat (sementasi) pada dirinya sendiri tetapi dengan butirannya yang sangat halus bisa bereaksi secara kimia dengan kapur dan air membentuk bahan perekat pada temperatur normal.

Saat ini jumlah limbah batubara (*fly ash*) di dunia yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara di PLTU sangatlah besar, termasuk di Indonesia. Di Indonesia PLTU penghasil limbah batubara adalah PLTU Paiton (Jawa Timur), PLTU Suralaya (Banten) dan PLTU Bukit Tinggi (Sumatera Barat). Untuk PLTU Suralaya dan Paiton pada tahun 1996 menghasilkan limbah

ampas batubara (*fly ash*) sebesar hampir satu juta ton per tahun. Apalagi pada saat ini jumlah untuk pembangkit yang beroperasi pada ketiga PLTU tersebut semakin banyak. Limbah batubara yang relatif besar ini menimbulkan dampak pencemaran yang cukup berat. Sehingga perlu difikirkan sebuah alternatif pemecahan permasalahan pencemaran ini (Andriati, 2005).

*Fly ash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. Pada intinya *fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), pospor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan Karbon (Wardani, 2008).

#### **a. Sifat-sifat Abu Terbang (*Fly Ash*)**

Abu terbang mempunyai sifat-sifat yang sangat menguntungkan di dalam menunjang pemanfaatannya yaitu :

##### **1. Sifat Fisik**

Abu terbang merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batubara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang

memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000kg/m<sup>3</sup> dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000m<sup>2</sup>/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain : Warna : abu-abu keputihan, Ukuran butir : sangat halus yaitu sekitar 88%.

## 2. Sifat Kimia

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silikat (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang.

Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub/bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100-3000kg/m<sup>3</sup> dan luas area spesifiknya antara 170-1000m<sup>2</sup>/kg.

Tabel 1. Komposisi kimia abu terbang batubara (<http://mheea-nck.blogspot.com/2011/01/pemanfaatan-abu-batubara.html>)

Komponen	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
$S_1O_2$	20-60%	40-60%	15-45%
$Al_2O_3$	5-35%	20-30%	10-25%
$Fe_2O_3$	10-40%	4-10%	4-15%
CaO	1-12%	5-30%	15-40%
MgO	0-5%	1-6%	3-10%
$SO_3$	0-4%	0-2%	0-10%
$Na_2O$	0-4%	0-2%	0-6%
$K_2O$	0-3%	0-4%	0-4%

#### b. Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*)

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

1. penyusun beton untuk jalan dan bendungan.
2. penimbun lahan bekas pertambangan.
3. recovery magnetik, cenosphere dan karbon.
4. bahan baku keramik, gelas, batubata, dan refraktori.
5. bahan penggosok (polisher).
6. filler aspal, plastik, dan kertas.

7. pengganti dan bahan baku semen.
8. aditif dalam pengolahan limbah (*waste stabilization*).
9. konversi menjadi zeolit dan adsorben.

Refraktori merupakan bahan tahan api sebagai penahan (*isolator*) panas pada tanur-tanur suhu tinggi yang banyak digunakan oleh berbagai industri, seperti industri peleburan logam, kaca, keramik, semen. Refraktori cor merupakan bahan tahan api berupa bubuk yang jika dicampur dengan air dan dibiarkan beberapa saat akan mengeras (*setting*). Penggunaannya sebagai isolator panas dilakukan dengan cara pengecoran adonan campuran bahan tersebut dengan air pada dinding tanur yang akan diisolasi (Kumar, 2009).

### C. Material Rem Kereta Api

Pemakaian blok rem komposit menggantikan blok rem berbahan besi cor untuk kanvas kereta api di Indonesia sudah dimulai sejak dasawarsa terakhir. Blok rem komposit pada mulanya diperkenalkan di Indonesia oleh para importir asing dengan blok rem merek *Fituris* (Australia), *Ferodo* (Inggris), *Marquist* (China), *Nabco* (Jepang) dan dari Sideria (Ipung Kurniawan, et.all., 2011). Baru sejak tahun 2002 blok rem komposit diproduksi di tanah air, dan saat ini sudah ada sekurang-kurangnya 3 pabrik blok rem komposit lokal dan 2 diantaranya telah mendapat sertifikasi dari PT. KAI (Agung, 2009). Blok rem yang terbuat dari material besi cor mempunyai berat 11-12 kg. Blok rem seberat ini dapat mempersulit proses pemasangan atau biaya pemasangan

yang tinggi. Umur pemakaian hanya mencapai satu bulan dan nilai jual bahan bekasnya masih relatif tinggi (Agung, 2009).

Berbagai macam usaha dilakukan untuk mencari alternatif material yang mempunyai sifat ringan, keras dan tahan aus sebagai pengganti blok rem berbahan besi cor. Namun demikian hasil yang diperoleh belum bisa seperti yang diharapkan. Salah satu upaya yang telah ditempuh adalah menggabungkan dua material penyusunnya, yaitu matrik dan penguat (Ipung, 2011).

Keunggulan dari blok rem berbahan komposit adalah tidak memiliki *salvage value* atau nilai jual bahan bekasnya tidak ekonomis, sehingga anti pencurian. Disamping itu gesekan dengan roda tidak menimbulkan percikan api sehingga sangat layak untuk aplikasi di kereta barang (kereta parcel) khususnya kereta yang mengangkut bahan yang explosive seperti minyak atau gas dan lain lain. Penggantian blok rem metalik (*Cast Iron*) menjadi blok rem komposit dengan mempertimbangkan aspek ekonomis dimana kanvas rem komposit memiliki keunggulan dibanding rem metalik. Keunggulan blok rem komposit adalah sebagai berikut :

1. Rem komposit memiliki umur ekonomis 3 kali lipat dibanding blok rem besi cor (bisa bertahan 3 bulan).
2. Rem komposit lebih ringan, sehingga memudahkan penggantian (*replacement*).
3. Rem komposit memiliki harga lebih murah, karena usia pakai lebih panjang.

4. Rem komposit tidak rawan pencurian karena tidak bisa dijual kiloan seperti rem besi (metalik).
5. Rem komposit tidak memercikkan api yang terjadi saat pengereman (gesekan) sehingga aman jika digunakan untuk karena yang mengangkut bahan bakar seperti minyak, gas, batubara dan lain-lain.

Bahkan menurut rencana secara gradual PT KAI akan mengganti rem blok metalik (*Cast Iron*) menjadi rem blok komposit, karena alasan ekonomis, dengan memakai rem blok komposit maka efisiensi yang didapat hampir 3 kali dibanding rem blok metalik (*Cast Iron*). Rem jenis ini telah digunakan di perkeretaapian PT.KAI dan juga di luar negeri seperti di Jepang, Eropa, Australia dan beberapa negara tetangga di Asia, seperti Malaysia, Thailand dan India (Agung, 2009).

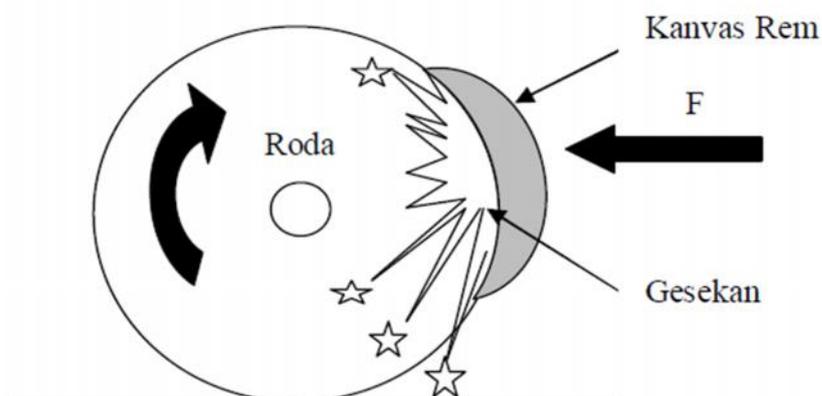
Bagaimanapun blok rem komposit harus tahan aus atau memiliki ketahanan aus minimal 3 bulan (umur ekonomis), memiliki bobot ringan, memiliki sifat ulet, cukup keras tapi tidak mudah pecah/hancur, dan memiliki konduktivitas panas tertentu untuk menghantarkan panas yang timbul akibat gaya gesek radial, sehingga panas tidak berbalik ke roda yang menyebabkan *thermal crack* (Agung, 2009). Dapat dilihat pada gambar 5 bagian-bagian pada rem.



Gambar 5. Aplikasi material gesek pada rem kereta api: a) *brake pad*,  
b) *brake lining*, c) *kopling*, d) *rem kereta api* (Rachman, 2010).

## 1. Konsep Dasar Pengereman

Sistem rem dalam suatu kendaraan termasuk sistem yang sangat penting karena berkaitan dengan faktor keselamatan berkendara. Prinsip kerja sistem rem adalah mengubah tenaga kinetik menjadi panas dengan cara menggesekkan dua buah benda yang berbeda berputar sehingga putarannya akan melambat. Oleh sebab itu komponen rem yang bergesekan ini harus tahan terhadap gesekan tidak mudah aus, (tahan panas) dan tidak mudah berubah bentuk pada saat bekerja dalam suhu tinggi (Hardianto, 2008). Ilustrasi pengereman dapat kita lihat pada gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi pengereman (Hardianto, 2008).

Pengereman dilakukan dengan diberikannya gaya pada kanvas rem untuk menahan atau menghentikan putaran roda. Pada saat kanvas bersentuhan langsung dengan roda maka akan timbul gesekan. Jarak pengereman kereta api adalah jarak yang dibutuhkan mulai saat masinis menarik tuas (*handle*) rem dengan kondisi pelayanan pengereman penuh (*full brake*) sampai

dengan kereta api benar-benar berhenti. Yang dimaksud dengan pengereman penuh (*full brake*) pada rangkaian kereta api yang dilengkapi peralatan pengereman udara tekan (*Westinghouse*) adalah menurunkan tekanan udara pada pipa utama sebesar  $1,4-1,6\text{kg/cm}^2$  ( $1,4-1,6\text{atm}$ ) melalui tuas pengereman yang dilakukan masinis di lokomotif yang menyebabkan tekanan maksimum pada silinder pengereman kereta atau gerbong mencapai  $3,8\text{kg/cm}^2$  ( $3,8\text{atm}$ ) pada masing-masing kereta atau gerbong. Memiliki bobot ringan, memiliki sifat ulet, cukup keras tapi tidak mudah pecah/hancur, dan memiliki konduktivitas panas tertentu untuk menghantarkan panas yang timbul akibat gaya gesek radial (gaya gesekan), sehingga panas tidak berbalik ke roda yang menyebabkan *thermal crack*, memiliki modulus elastisitas cukup baik atau masuk range spesifikasi teknis PT.KAI yaitu antara 2400 s/d  $150.000\text{N/cm}^2$  (Agung, 2009). Spesifikasi teknik rem komposit dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi teknik rem komposit PT. KAI (Hilman, 2012).

No	Sifat Fisik & Mekanik	Spesifikasi Teknik PT. KAI
1	Berat jenis, $\text{gr/cm}^3$	1.8 – 2.4
2	Koefisien gesek	0.14 – 0.22
3	Hardness, HRR	70 – 105
4	Crush strength, $\text{N/cm}^2$	Min. 2500
5	Cross breaking strength, $\text{N/cm}^2$	2400 – 4000
6	Shear strength, $\text{N/cm}^2$	1500 – 3500
7	Modulus of elasticity, $\text{N/cm}^2$	24000 – 150000
8	Thermal conductivity, W/m.K	Min. 0.8
9	Ketahanan panas operasional	tidak meleleh dan tidak terbakar untuk pemakaian kontinyu
	a. $250^\circ\text{C}$	
	b. $500^\circ\text{C}$	boleh terbakar namun tidak menimbulkan nyala api

#### D. Uji Ketahanan Panas

##### TGA (*Thermogravimetric Analysis*)

TGA terutama dipakai untuk menentukan stabilitas panas polimer-polimer. Metode TGA yang banyak diterapkan didasarkan pada pengukuran bobot yang kontinu terhadap suatu neraca sensitif (disebut *neraca panas*) ketika suhu sampel dinaikkan dalam udara atau dalam atmosfer yang inert. TGA ini dinyatakan sebagai TGA *nonisothermal*. Data dicatat sebagai thermogram bobot versus temperatur. Hilangnya bobot bisa timbul dari evaporasi lembab yang tersisa atau pelarut, tetapi pada suhu-suhu yang lebih tinggi terjadi dari terurainya polimer. Selain memberikan informasi mengenai stabilitas panas, TGA bisa dipakai untuk mengkarakterisasi polimer melalui hilangnya suatu entitas yang diketahui. TGA juga bermanfaat untuk penetapan bahan pemlastik dan bahan-bahan tambahan lainnya.

Suatu variasi dari metode TGA adalah mencatat kehilangan bobot dengan waktu pada suhu konstan (TGA *isothermal*). TGA ini kurang umum dipakai daripada TGA nonisothermal. Instrumen-instrumen TGA modern memungkinkan termogram-termogram dicatat pada kuantitas mikrogram bahan. Beberapa instrument didesain untuk mencatat dan memproses data DSC dan TGA sekaligus dan bisa juga diadaptasi untuk analisis kromatografi gas dan spektrometri massa terhadap produk-produk degradasi yang terjadi (Steven, 2001).

Analisis thermogravimetri merupakan metode dinamik yang didasarkan pada hilangnya bobot sampel yang diukur secara kontinu sebagai fungsi

temperatur pada kecepatan tetap atau sebagai fungsi waktu. Aplikasinya untuk menentukan kemurnian sampel, mempelajari degradasi termal dan kinetika kimia (West,1992).

Berdasar kurva thermogram, maka diperoleh:

1. Tahap pertama menyatakan bobot awal ( $w_0-w_1$ ) yang jumlahnya kecil, merupakan hilangnya pelarut akibat desrpsi, tapi bila terjadi pada suhu mendekati  $1000^{\circ}\text{C}$  merupakan air yang menguap.
2. Tahap berikutnya ( $w_1-w_2$ ) atau ( $w_2-w_3$ ) ialah hasil dekomposisi cuplikan (Narkanti, 1996).

#### **a. Definisi**

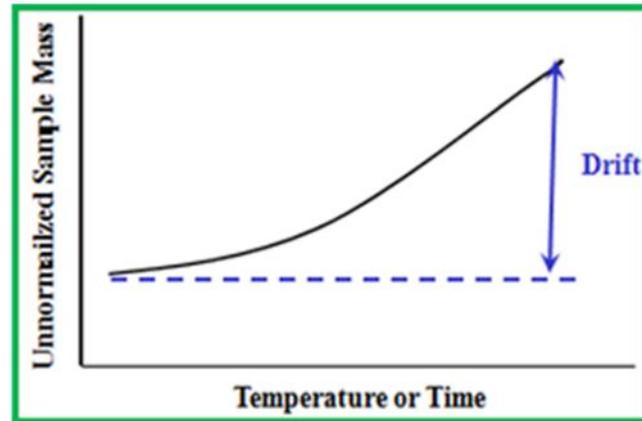
TGA merupakan suatu teknik mengukur perubahan jumlah dan laju dalam berat dari material sebagai fungsi dari temperatur atau waktu dalam atmosfer yang terkontrol. Pengukuran digunakan untuk menentukan komposisi material dan memprediksi stabilitas termalnya pada temperatur mencapai  $1000^{\circ}\text{C}$ . Teknik ini dapat mengkarakterisasi material yang menunjukkan kehilangan atau penambahan berat akibat dekomposisi, oksidasi, atau dehidrasi. Teknik ini sesuai untuk berbagai macam material padat termasuk material organik maupun anorganik.

#### **b. Prinsip Kerja**

Preparasi sampel TGA

Memaksimalkan luas permukaan dari sampel untuk meningkatkan resolusi kehilangan berat dan reproduibilitas temperatur.

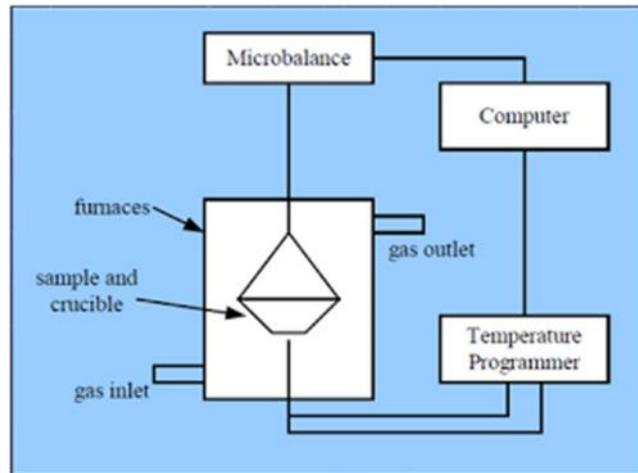
Berat sampel : 10-20mg untuk aplikasi pada umumnya, 50-100mg untuk pengukuran zat-zat mudah menguap. Kebanyakan TGA memiliki *baseline drift* 0.25% dari 10mg sampel. Gambar 7 yaitu Penampilan kuantifikasi TGA *baseline*



Gambar 7 Penampilan kuantifikasi TGA *baseline* (Mohomed, 2005).

TGA terdiri dari sebuah *sample pan* yang didukung oleh sebuah *precision balance*. *Pan* tersebut ditempatkan dalam suatu *furnace* dan dipanaskan atau didinginkan selama eksperimen. Massa dari sampel dipantau selama eksperimen. Sampel dialiri oleh suatu gas untuk mengontrol lingkungan sampelnya. Gas yang digunakan dapat berupa gas inert atau gas reaktif yang mengalir melalui sampel dan keluar melalui *exhaust*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 8.

## Cara Kerja Timbangan

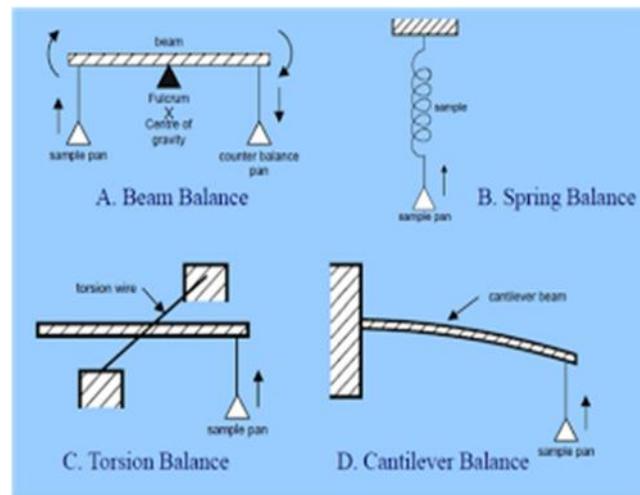


Gambar 8. Skematis sistem kerja TGA (Mohomed, 2005).

Timbangan bekerja pada 3 prinsip :

1. *Null-balance*: pada posisi nol sama dengan jumlah sinar yang memancar pada dua *photodiode*. Bila timbangan bergerak tidak sama dengan nol, maka terjadi ketidakseimbangan jumlah cahaya yang memancar pada dua *photodiode*. Arus dialirkan ke *meter movement* untuk mengembalikan timbangan pada posisi nol. Jumlah arus yang dialirkan sama dengan nilai kehilangan berat atau penambahan berat.
2. *Deflection balance*: Perpindahan dari sistem mekanik itu sendiri melawan perubahan berat dan menetapkan posisi kesetimbangan yang baru.
3. *Pseudo-null balance*: Gabungan kedua sistem. Perubahan berat 'sebagian' dinetralkan dengan gaya pemulih, kemudian defleksi sisa dari posisi null (posisi '0') ditentukan. Perubahan berat total adalah jumlah dari dua efek.

Mekanisme timbangan pada TGA seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Berbagai mekanisme timbangan TGA (Mohomed, 2005).

### c. Aplikasi

Analisa TGA banyak digunakan untuk mengkarakterisasi dan menentukan material. TGA dapat digunakan pada banyak industri seperti pada lingkungan, makanan, farmasi, petrokimia dan biasanya dengan *evolved gas analysis*.

Kebanyakan pengujian TGA menggunakan sampel yang dialiri gas inert. Hal tersebut dilakukan agar sampel hanya bereaksi terhadap suhu selama dekomposisi. Saat sampel dipanaskan pada atmosfer inert proses terjadi suatu proses yang biasanya disebut pirolisis. Pirolisis merupakan dekomposisi kimia dari material organik dengan pemanasan saat tidak adanya oksigen atau reagen lainnya. Berikut ini merupakan beberapa aplikasi penggunaan TGA:

- a. Menentukan perubahan temperatur dan berat karena adanya reaksi dekomposisi yang biasanya memungkinkan untuk menentukan analisa komposisi kuantitatif.
- b. Menentukan kelembaban, kandungan *solvent* atau *filler*.
- c. Mengetahui peristiwa reduksi atau oksidasi.
- d. Memungkinkan menganalisa reaksi dengan air, oksigen, atau gas reaktif lainnya.
- e. Dapat digunakan untuk mengukur laju penguapan, seperti pengukuran emisi yang mudah menguap pada campuran *liquid*.
- f. Memungkinkan penentuan temperatur curie pada transisi magnetik dengan mengukur temperatur dimana kekuatan yang diberikan oleh sebuah magnet didekatnya akan menghilang pada saat dipanaskan dan akan muncul kembali saat didinginkan.
- g. Membantu mengidentifikasi material plastik dan organik dengan menentukan temperatur dari *bond scissions* pada atmosfer inert atau oksidasi di udara atau oksigen
- h. Mengukur berat dari *fiberglass* dan isi material inorganik di plastik, laminat, cat, primer dan material komposit dengan membakar resin dari polimer. Kemudian isi dari material tersebut dapat diidentifikasi dengan XPS dan mikroskop. Isi material tersebut dapat berupa *carbon black*,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , bubuk, tanah liat kaolin, silika, dan lain-lain.