# II. TINJAUAN PUSTAKA

## A. Material Komposit

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah, berbeda dalam level makroskopik, dan membentuk komponen tunggal. *Composite* berasal dari kata kerja "*to compose*" yang berarti menyusun atau menggabung. Jadi secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis.

Pada umumnya bentuk dasar suatu bahan komposit adalah tunggal dimana merupakan susunan dari dua unsur yang bekerja bersama untuk menghasilkan sifat-sifat bahan yang berbeda terhadap sifat-sifat unsur bahan penyusunnya. Komposit terdiri dari suatu bahan utama *(matriks)* dan suatu jenis penguatan *(reinforcement)* yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan *matriks*. Penguatan ini biasanya dalam bentuk serat *(fiber).* Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya (Handoyo Kus, 2008).

## 1. *Reinforcement* (penguat)

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *Reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit.

Berdasarkan jenis penguatnya komposit dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

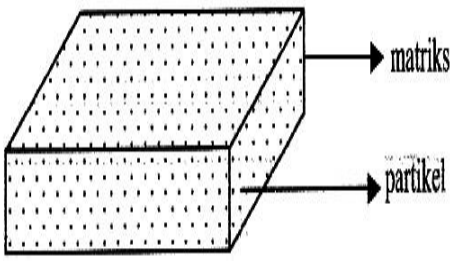
a. Partikel sebagai penguat *(Particulate composites)*

b. Fiber sebagai penguat *(Fiber composites)*

c. Fiber sebagai sturktural *(Structute composites)*

### a. Partikel sebagai penguat (*particulate composites*)

Komposit yang disusun oleh *reinforcement* berbentuk partikel, dimana interaksi antara partikel dan *matriks* terjadi tidak dalam skala atomik atau molekular. Partikel seharusnya berukuran kecil dan terdistribusi merata. Contohnya *large particle composite* adalah cemet dengan sand atau gravel. Cemet sebagai matriks dan sand sebagai partikel, *Sphereodite steel* (*cementite* sebagai partikulat), *Tire* (carbon sebagai partikulat), *Oxide-base cermet* (oksida logam sebagai partikulat)




Gambar 1. *Particulate Composites* (Gibson, 1994)

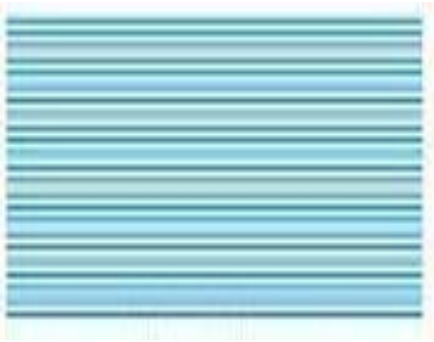
**b. Fiber sebagai penguat *(fiber composites)***

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang diberikan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan ke 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.

Komposit yang diperkuat oleh serat dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu:

1. *Continuous fiber composite*

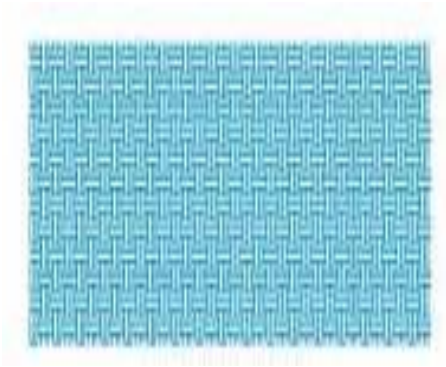
   *Continuous* atau *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.



Gambar 2. *Continuous Fiber Composite*. (Gibson, 1994)

2. *Woven fiber composite (bi-dirtectional)*

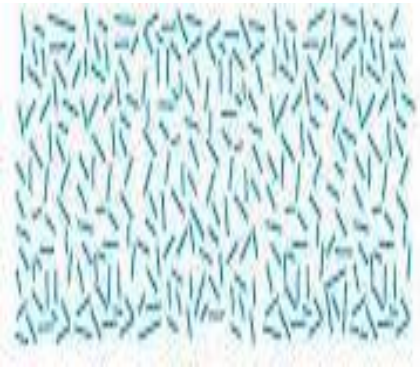
Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continuous* fiber.



Gambar 3. *Woven Fiber Composite.* (Gibson, 1994)

3. *Discontinuous fiber composite (chopped fiber composite)*

Komposit ini diperkuat dengan serat pendek dan susunan seratnya secara acak.



Gambar 4. *Discontinuous Fiber Composite.* (Gibson, 1994)

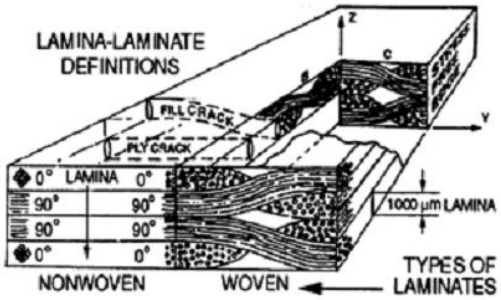
4. *Hybrid fiber composite*

*Hybrid fiber composite* merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak.

Gambar 5. *Hybrid fiber composite*. (Gibson, 1994)

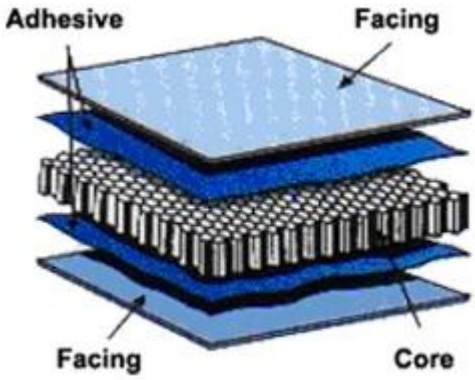
**c. Fiber sebagai struktural *(structute composites)***

Komposit struktural dibentuk oleh *reinforce-reinforce* yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminate* dan struktur *sandwich*. Laminate adalah gabungan dari dua atau lebih lamina yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit.




Gambar 6. Mikrostruktur lamina. (Widodo, 2008)

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite (metal sheet)* sebagai kulit permukaan *(skin)* serta meterial inti *(core)* di bagian tengahnya. *Core* yang biasa dipakai adalah polyuretan (PU), polyvynil clorida (PVC), dan honeycomb. Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural bagian internal dan eksternal pada kereta, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya.

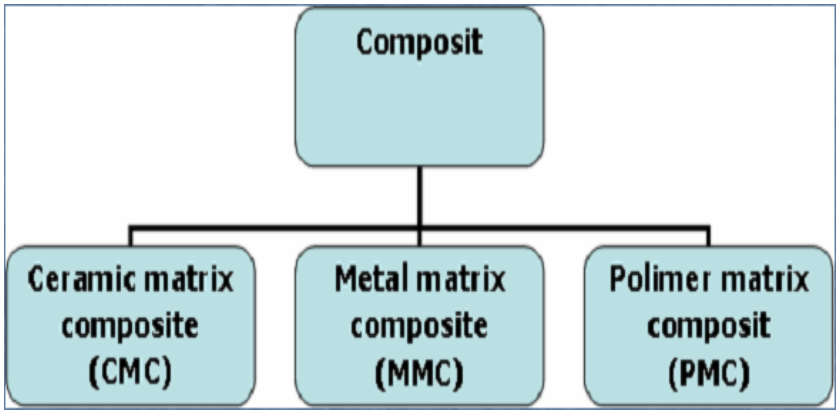



Gambar 7. *Structural composites sandwich panels.*
(http://www.*engineredmaterialsinc*.com)

**2. *Matriks***

Berdasarkan *matriks*, komposit dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok besar yaitu:

a) Komposit matrik polimer (KMP), polimer sebagai matrik
b) Komposit matrik logam (KML), logam sebagi matrik
c) Komposit matrik keramik (KMK), keramik sebagai matrik




Gambar 8. Klasifikasi komposit berdasarkan bentuk dari matriksnya

**a. Komposit matrik polimer (*polymer matrix composites*–PMC)**

Jenis polimer yang banyak digunakan adalah *thermoplasti*c dan *thermoset. Thermoplasti*c adalah *plastic* yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan pemanasan. *Thermoplastic* merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. Contoh *thermoplastic* yaitu poliester, nylon 66, PP, PTFE, PET, polieter sulfon, PES, dan polieter eterketon (PEEK).

*Thermoset* tidak dapat mengikuti perubahan suhu *(irreversibel).* Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan yang tinggi tidak dapat melunakkan *termoset* melainkan akan membentuk arang dan terurai. Contoh dari *thermoset* yaitu epoksida, bismaleimida (BMI), dan poli-imida (PI).

**b. Komposit matrik logam (*metal matrix composites* – MMC)**

*Metal matrix composites* adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matrik logam. Material MMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah *continous filamen* MMC yang digunakan dalam aplikasi *aerospace*.

**c. Komposit matrik keramik (*ceramic matrix composites* – CMC)**

CMC merupakan material 2 fasa dengan 1 fasa berfungsi sebagai *reinforcement* dan 1 fasa sebagai *matriks*, dimana matriksnya terbuat dari keramik. *Reinforcement* yang umum digunakan pada CMC adalah oksida, carbide, dan nitrid. Salah satu proses pembuatan dari CMC, yaitu proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk perkembangan *matriks* keramik disekeliling daerah *filler* (penguat).

## B. *Fly ash* (abu terbang batu bara)

Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam *furnace* pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan mengunakan *elektrostatic precipitator*. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatik.

Karena partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada *presipitator elektrostatik* berukuran (0.074 – 0.005 mm). *Fly ash* ini terdiri dari silikon dioksida ($SiO_2$), aluminium oksida ($Al_2O_3$) dan besi oksida ($Fe_2O_3$).

Pemanfaatan untuk membantu mengatasi krisis energi, polusi udara (meningkatkan efisiensi pembakaran), dan mengatasi permasalahan yang sedang dihadapi industri-industri. Sebagai contoh, PLTU Tarahan yang memiliki 2 unit pembangkit berkapasitas 100 MW per unit menggunakan batu bara sebanyak 40 ton/jam per unit. Pembakaran batu bara dihasilkan sekitar 5 % polutan padat berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*), dimana sekitar 10-20% adalah *bottom ash* dan 80-90% *fly ash* dari total abu yang dihasilkan. Dengan demikian, berdasarkan pernyataan di atas, setiap harinya PLTU tarahan menghasilkan *fly ash* sebanyak 5% x 80 ton/jam x 24 jam/hari x 80% = 76,8 ton/hari. Artinya, semakin hari akan semakin besar lahan yang dibutuhkan sebagai tempat penumpukan limbah fly ash tersebut (Wardani 2008).

Hal ini berbanding terbalik dengan pertumbuhan manusia yang terus meningkat yang berarti kebutuhan akan tempat tinggal pun semakin tinggi. Selain itu, pencemaran lingkungan akibat limbah fly ash juga dapat menyebabkan berbagai penyakit gangguan saluran pernafasan seperti silikosis dan antrakosis. Jumlah limbah yang sangat banyak ini, tentu akan menyebabkan permasalahan besar seperti di atas, yang harus diselesaikan dan dicarikan solusinya (Dafi,2009).

**1. Sifat-sifat *fly ash* (abu terbang)**

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

a. 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 batu bara 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 3000 kg/$m^3$ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 $m^2$/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain : Warna : abu-abu keputihan, Ukuran butir : sangat halus yaitu sekitar 88 %.

b. Sifat Kimia

Komponen utama dari abu terbang batubara yag berasal dari pembangkit listrik adalah silikat ($SiO_2$), alumina ($Al_2O_3$), dan besi oksida ($Fe_2O_3$), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis

batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. (Marinda P, 2008).

Tabel 1. Komposisi kimia abu terbang batubara (Wardani, 2008)

| **Komponen** | **Bituminous** | **Sub-bituminous** | **Lignite** |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 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% |
| LOI | 0-15% | 0-3% | 0-5% |

**2. Pemanfaatan *Fly Ash* (Abu Terbang)**

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 (Silvonen,2001) yaitu:

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. *Recovery magnetik*, *cenosphere* dan karbon
3. Bahan baku keramik, gelas, batubata, dan refraktori
4. Bahan penggosok *(polisher)*

5. *Filler* aspal, plastik, dan kertas
6. Pengganti dan bahan baku semen
7. Aditif dalam pengolahan limbah *(waste stabilization)*
8. 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 et al, 2003).

## C. Kampas rem

### 1. Komposisi Kampas Rem

Memasuki tahun 1897, mulai digunakan rem jenis teromol *(brake lining)* pada kendaraan. Jenis rem ini diciptakan *Herber Food* dari perusahaan Ferodo Ltd. Kampas yang digunakan menggunakan bahan campuran sabut dengan kain katun *(cotton belting)*. Selanjutnya sekitar 1908, bahan asbestos mulai digunakan. Asbestos merupakan paduan kuningan dan serat metal yang disatukan menggunakan *binder* (bahan pengikat) namun belum dicetak. Hingga 1920, kampas rem mulai dicetak dengan serat metal

dengan ukuran lebih pendek, logam kuningan yang lebih halus serta tambahan bahan organik.

Namun pada 1994, ditemukan kalau asbestos mengandung zat karsinogen yang dituding sebagai salah satu zat penyebab kanker paru-paru. Dan efek itu baru terasa setelah 10-15 tahun. Sejak itu, produksinya pun mulai perlahan dihentikan. Sebagai gantinya adalah penggunaan *brass*, *copper fiber* dan *aramid pulp*. Kampas rem non-asbestos ini terbagi 2, yakni *low steel* yang masih mengandung besi meski sedikit dan *non-steel* yang tidak menggunakan besi. Namun ada 2 kelemahannya, kotoran dari pengikisan kampas berwarna hitam dapat mengotori pelek dan harganya pun lebih mahal dari kampas rem asbestos. Namun kini beberapa produsen telah meninggalkan penggunaan asbestos. Bahan baku kampas rem asbestos: asbestos 40 s/d 60 %, resin 12 s/d 15%, BaSO4 14 s/d 15%, sisanya karet ban bekas, tembaga sisa kerajinan, frict dust. Bahan baku kampas rem non asbestos**:** aramyd/ kevlar/ twaron, rockwool, fiberglass, potasiumtitanate, carbonfiber, graphite, celullose, vemiculate, steelfiber, BaSO4, resin, Nitrile butadine rubber ( Ari Tristianto Wibowo, 2010).

**2. Material Komposit Untuk Kampas Rem**

Indonesia kaya akan material-material bahan tambang berupa oksida-oksida logam seperti *Calcite, Barite, Hematite, Silikat*, dll yang sangat bermanfaat dan murah untuk pengembangan bahan tahan aus tinggi. Di samping itu pula juga memiliki potensi bahan-bahan organik alam lainnya. yang bisa dimanfaatkan sebagai resin sebagai *matriks* bahan komposit.

Sekarang sudah saatnya kita memanfaatkan sumber kekayaan alam kita yang bernilai tambah tinggi, memiliki keunggulan komparatif, dari segi mutu produk dan keunggulan kompetitif dari segi harga. Kita harus dapat menciptakan material cerdas dari bahan baku lokal yang bermanfaat.

Secara umum keempat klasifikasi bahan friksi harus mengandung tipe bahan penyusun yang terdiri dari bahan pengikat, bahan serat dan bahan pengisi. Komposit bahan kampas rem yang akan kita uji cobakan adalah komposit yang terdiri dari resin sebagai pengikat. Resin ini berfungsi untuk mengikat berbagai zat penyusun di dalam bahan tersebut. Resin sintetik yang digunakan terdiri dari 2 macam yaitu termoset dan termoplastik. Bila dipanaskan perilaku kedua resin ini akan berbeda. Termoset tidak melunak sedangkan termoplastik melunak tetapi akan kembali keras setelah didinginkan. Perbedaan sifatnya ditentukan oleh struktur dalamnya (Hartomo, 1995).

Dalam menghasilkan "*Brakelining*" yang baru dengan nilai yang cukup pada koefisien gesek dan kecepatan *wear* yang rendah, faktor biaya kedua bahan mentah proses pembuatannya harus dipertimbangkan. Bahan-bahannya sangat penting digunakan dalam menentukan performa friksi dan juga biaya, sehingga proses seleksi dan evaluasi pada bahan mentah sangat diperlukan. Pendekatan seleksi bahan untuk perkembangan "*Brake lining material"* di mana pemodelan mikro-mekanik digunakan untuk menghubungkan performa secara menyeluruh untuk memilih bahan penyusun dan sifat-sifatnya (Desi, 2008).

### 3. Sifat Mekanik Kampas Rem

Karakterisasi yang perlu dilakukan dalam pembuatan kampas rem adalah kekerasan dan keausan. Kedua hal ini sangat penting karena saling berhubungan satu sama lain. Jika kampas rem sangat keras akan mempengaruhi rotornya dan jika kampas rem cepat aus maka akan menambah pengeluaran.

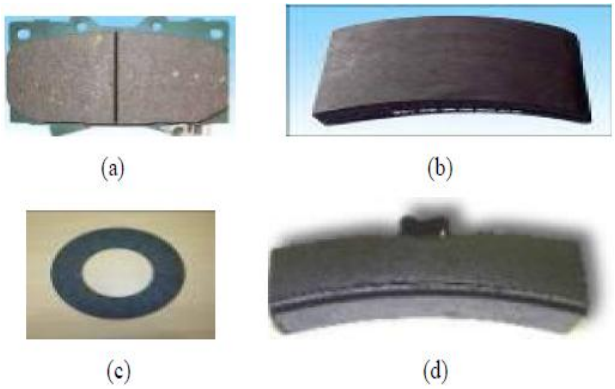
Sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (seperti komponen yang terbuat dari bahan tersebut) untuk menerima beban/gaya/energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan/komponen tersebut. Sering kali bila suatu bahan mempunya sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik pada sifat yang lain, maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut. Untuk mendapatkan standar acuan tentang spesifikasi teknik kampas rem, maka nilai kekerasan, keausan, bending dan sifat mekanik lainnya harus mendekati nilai standar keamanannya. Adapun persyaratan teknik dari kampas rem komposit (*www.stopcobrake.com*) yaitu :

a) Untuk nilai kekerasan sesuai standar keamanan 68 – 105 (Rockwell R).
b) Ketahanan panas 360 $^{o}$C, untuk pemakaian terus menerus sampai dengan 250 $^{o}$C
c) Nilai keausan kampas rem adalah ($5 \times 10^{-4}$ - $5 \times 10^{-3}$ mm$^2$/kg)
d) Koefisien gesek 0,14 – 0,27
e) Massa jenis kampas rem adalah 1,5 – 2,4 gr/cm$^3$
f) Konduktivitas thermal 0,12 – 0,8 W.m.°K
g) Tekanan Spesifiknya adalah 0,17 – 0,98 joule/g.°C

h) Kekuatan geser 1300 – 3500 N/cm$^2$

i) Kekuatan perpatahan 480 – 1500 N/cm$^2$

Aplikasi material gesek kampas rem dapat dilihat pada Gambar 9:




Gambar 9. Aplikasi material gesek kampas rem: (a) *brake pad*, (b) *brake lining*, (c) kopling, (d) rem kereta api (Rachman, 2010).

## D. Metalurgi serbuk komposit

Metalurgi serbuk merupakan salah satu pilihan cara pembuatan untuk menghasilkan suatu komponen. Metalurgi serbuk merupakan suatu bidang ilmu yang mempelajari mengenai proses yang berkaitan dengan serbuk logam dan serbuk komposit yang meliputi pembuatan (fabrikasi), karakteristik serbuk, hingga konversi serbuk menjadi suatu komponen produk. Proses metalurgi serbuk ini meliputi tahapan proses metalurgi serbuk antara lain:

1. Karakteristik serbuk meliputi ukuran, bentuk serbuk, dan komposisi kimia.
2. *Mixing* atau *blending* (pencampuran serbuk).
3. Kompaksi (penekanan).
4. *Curing* (pemanasan).

Berikut ini adalah beberapa keunggulan dan kekurangan dari proses metalurgi serbuk (Rizkiyani, 2008) yaitu:

1. keunggulan:
   a) Kemampuan untuk membuat komponen dengan tingkat kerumitan yang tinggi dan toleransi dimensi yang baik dengan kualitas yang tinggi.
   b) Konsumsi energi yang rendah.
   c) Penggunaan bahan baku yang efisien.
   d) Proses pencampuran yang lebih mudah dibanding pengecoran.
   e) Dapat meminimalisasi terjadinya reaksi antar muka yang tidak diinginkan karna mudah diperbaiki pada temperatur rendah.
   f) Dapat dilakukan proses perlakuan panas dan pembentukan pada kondisi panas atau dingin guna meningkatkan sifat mekanisnya.

2. Kekurangan:
   a) Sulit untuk menghasilkan produksi massal.
   b) Sulit untuk mendapatkan distribusi pertikel yang merata pada produk.
   c) Membutuhkan kebersihan proses dengan tingkat yang tinggi.
   d) Terbentuknya inklusi di dalam produk yang memberikan efek beracun.
   e) Desain komponen harus dibuat sedemikian rupa sehingga mudah dikeluarkan dari cetakan.

**1. Karakteristik serbuk**

Selain komposisi kimia yang menentukan sifat akhir komponen, sifat serbuk awal yang akan diproses juga mempengaruhi sifat produk akhir yang dihasilkan. Hal ini sangat penting untuk menentukan sifat mekanis

dari hasil kompaksi serbuk serta karakteristik-karakteristik lainnya yang meliputi ukuran serbuk, berat jenis serbuk, mampu alir serbuk *(flowability)*, dan mampu tekan serbuk *(compressability)*. Sesuatu dapat dikatakan serbuk apabila merupakan suatu padatan yang memiliki ukuran dimensi lebih kecil dari pada 1mm.

a. Ukuran dan distribusi partikel serbuk

Ukuran serbuk dapat didefinisikan sebagai ukuran linier pertikel yang kecil. Ukuran pertikel biasanya dilambangkan dengan ukuran mikron (µm). Ukuran partikel juga menentukan stabilitas dimensi, pelepasan gas yang tertangkap dan karakteristik selama proses pencampuran. Semakin halus ukuran partikel, maka akan semakin besar berat jenis bahan tersebut. Sedangkan distribusi ukuran partikel adalah pengelompokan besar pertikel dalam berbagai ukuran yang bertujuan untuk menghasilkan pengukuran kerapatan maksimum suatu partikel. Distribusi partikel ini sangat berpengaruh terhadap kemampuan saling isi partikel untuk mendapatkan volume terpadat. Berikut ini adalah pengaruh ukuran partikel serbuk terhadap karakteristik serbuk:

1) Ukuran partikel serbuk yang halus lebih digunakan untuk proses kompaksi serbuk yang keras atau getas seperti: tungsten dan alumina, karna dengan meningkatnya gesekan akan membantu meningkatkan kekuatan *adhesi* sehingga memudahkan proses selanjutnya.

2) Serbuk yang halus memiliki luas permukaan antar partikel yang lebih banyak sehingga luasnya permukaan akan meningkatkan mekanisme ikatan antar partikel secara difusi saat proses pemanasan.
3) Serbuk yang kasar, maka dapat lebih mudah didapatkan berat jenis yang lebih seragam pada saat kompasi, akan tetapi sifat hasil pemanasannya kurang baik dibandingkan dengan partikel yang lebih halus karna rendahnya luas antar partikel yang menyebabkan sedikitnya difusi yang terjadi sehingga menurunkan sifat mekanisnya.

b. Bentuk partikel serbuk

Bentuk partikel serbuk merupakan faktor penting terhadap sifat massa serbuk, seperti efisiensi pemadatan serbuk, mampu alir serbuk, dan mampu tekan serbuk. Bentuk partikel serbuk yang besar mempengaruhi besarnya kontak antar pertikel sehinnga besarnya gaya gesekan antar partikel dihubungkan dengan luas permukaan partikel serbuk. Bentuk partikel serbuk juga bepengaruh pada perpindahan serbuk saat proses penekanan, yang pada akhirnya akan mempengaruhi perpindahan massa pada proses pemanasan. Berdasarkan standar ISO 3252, bentuk serbuk dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1) *Spherical* berbentuk bulat
2) *Angular* berbentuk polihedral kasar dengan tepi tajam
3) *Acicular* berbentuk jarum
4) *Irregular* berbentuk tidak beraturan

5) *Flake* berbentuk serpihan
6) *Fibrous* berbentuk serabut yang beraturan atau tidak beraturan
7) *Dendritic* berbentuk kristalin dan bercabang
8) *Granula*r berbentuk hampir bulat
9) *Nodular* berbentuk bulat dan tidak beraturan

c. Berat jenis serbuk

Berat jenis serbuk dapat didefinisikan sebagai tingkat kerapatan dari serbuk. Pada metode metalurgi serbuk terdapat beberapa terminologi mengenai pengertian berat jenis yaitu:

1) *Apparent density* atau *bulk density* didefinisikan sebagai berat per satuan volume dari serbuk.
2) *Tap density* didefinisikan sebagai berat jenis tertinggi yang dicapai dengan vibrasi tanpa aplikasi tekanan luar.
3) *Green density* didefinisikan sebagai berat jenis serbuk setelah serbuk mengalami penekanan kompaksi untuk proses pemanasan.
4) *Theoritical density* didefinisikan sebagai berat jenis sesungguhnya dari material serbuk ketika material serbuk ditekan hingga menghasilkan serbuk tanpa pori.

d. Mampu alir serbuk *(Flowability)*

Mampu alir serbuk merupakan karakteristik serbuk yang menggambarkan sifat alir dan kemampuan serbuk untuk dapat memenuhi ruang cetakan dan beberapa faktor yang mempengaruhi

mampu alir serbuk adalah bentuk serbuk, berat jenis serbuk, distribusi ukuran partikel, dan kelembaban serbuk.

e. Mampu tekan *(Compressibility)*

Mampu tekan merupakan perbandingan volume serbuk mula-mula dengan volume benda yang ditekan yang nilainya berbeda-beda tergantung distribusi ukuran serbuk dan bentuk serbuk. Mampu tekan menunjukan bahwa densitas merupakan fungsi dari tekanan yang diberikan. Serbuk yang halus akan memiliki mampu tekan yang lebih tinggi dari pada serbuk yang kasar. Mampu tekan serbuk juga dipengaruhi oleh efek gesekan antar partikel. (Rizkiyani, 2008)

**2. Pencampuran *(Mixing)***

Pencampuran serbuk dapat dilakukan dengan mencampurkan logam yang berbeda dan material-material lain untuk memberikan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. Pencampuran Ada 2 macam, yaitu: dilakukan dengan proses basah (*wet mixing)* dan proses kering *(dry mixing)*.

a) Pencampuran basah *(wet mixing)*

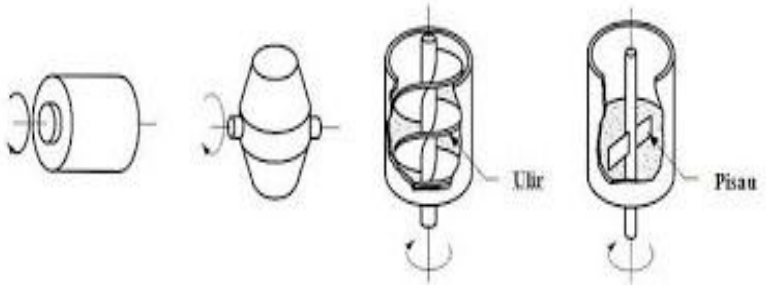
Yaitu proses pencampuaran dimana serbuk matrik dan *filler* dicampur terlebih dahulu dengan pelarut polar. Metode ini dipakai apabila material (matrik dan *filler*) yang digunakan mudah mengalami oksidasi.Tujuan pemberian pelarut polar adalah untuk mempermudah proses pencampuaran material yang digunakan dan untuk melapisi

permukaan material supaya tidak berhubungan dengan udara luar sehingga mencegah terjadinya oksidasi pada material yang digunakan.

b) Pencampuran kering *(dry mixing)*

Yaitu proses pencampuran yang dilakukan tanpa menggunakan pelarut untuk membantu melarutkan dan dilakukan di udara luar. Metode ini dipakai apabila material yang digunakan tidak mudah mengalami oksidasi.

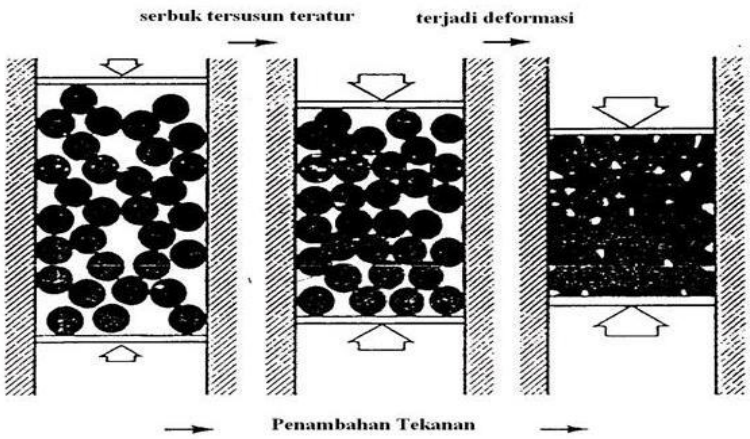
Faktor penentu kehomogenan distribusi partikel, antara lain: kecepatan pencampuran, lamanya waktu pencampuran, ukuran partikel, jenis material, temperatur, dan media pencampuran. Semakin besar kecepatan pencampuran, semakin lama waktu pencampuran, dan semakin kecil ukuran partikel yang dicampur, maka distribusi partikel semakin homogen. Kehomogenan campuran sangat berpengaruh pada proses penekanan (kompaksi), karena gaya tekan yang diberikan pada saat kompaksi akan terdistribusi secara merata sehingga kualitas ikatan antar partikel semakin baik. (Nurun, 2008).




Gambar 10. Macam-macam *mixing* (Nurun, 2008)

**3. Penekanan (kompaksi)**

Penekanan (kompaksi) adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin *(cold compaction)* dan penekanan panas *(hot compactio*n). *Cold compressing*, yaitu penekanan dengan temperatur kamar. Metode ini dipakai apabila bahan yang digunakan mudah teroksidasi, seperti Al. Hot compressing, yaitu penekanan dengan temperatur diatas temperatur kamar. Metode ini dipakai apabila material yang digunakan tidak mudah teroksidasi.




Gambar 11. Proses kompaksi serbuk (Nurun, 2008)

**4. Pemanasan *(Curing )***

*Curing* adalah salah satu proses heat treatment dimana material komposit dipanaskan dengan temperatur dan waktu tertentu, sehingga material komposit akan mengalami perubahan pada sifat mekanik.

## E. Pengujian kekerasan

Kekerasan adalah ukuran ketahanan suatu material terhadap deformasi *plastis* lokal. Nilai kekerasan tersebut dihitung hanya pada tempat dilakukannya pengujian tersebut (lokal), sedangkan pada tempat lain bisa jadi kekerasan suatu material berbeda dengan tempat yang lainnya. Tetapi nilai kekerasan suatu material adalah homogen secara teoritik akan sama untuk tiap-tiap titik.

### 1. Pengujian kekerasan *Rockwell*

Pengujian *Rockwell* merupakan cara yang paling umum digunakan untuk mengukur kekerasan, karena pengujiannya sederhana untuk dikerjakan dan tidak dibutuhkan kemampuan khusus. Dalam uji kekerasan *Rockwell* ada beberapa skala yang dapat digunakan dan kombinasi jenis identor dan beban yang diterapkan. Identor yang digunakan ada dua macam, yaitu:

a) Bola baja yang dimiliki diameter 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 in .
b) Kerucut intan yang digunakan untuk bahan-bahan yang keras.

Dengan sistem ini, angka kekerasan dapat ditentukan berdasarkan perbedaan kedalaman hasil penetrasi yang diawali beban minor dan diikuti oleh beban mayor yang lebih besar. Besarnya beban minor adalah 10 kg dan beban mayor adalah 60, 100, 150 kg. Kekerasan dapat dibaca secara langsung dan hanya membutuhkan beberapa detik saja.

Lokasi titik pengujian pada mesin uji kekerasan sangat penting. Bila penekanan dilakukan terlalu dekat dengan bagian tepi dari benda uji maka harga kekerasan yang didapat akan berkurang dari yang sebenarnya.

Sedangkan jarak minimum antara satu penekanan dengan penekanan yang lain minimal lima kali diameter penekanan (Callister, 2001).

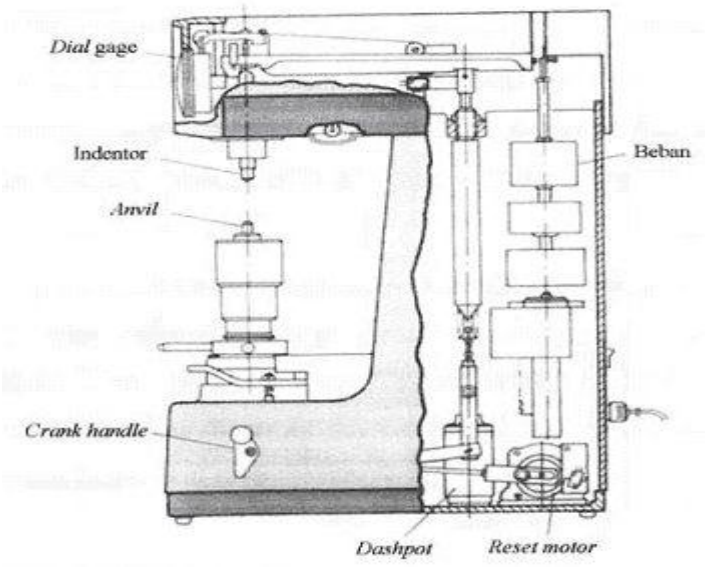
Tabel 2. Skala Kekerasan *Rockwell* (Callister, 2001)

| Skala | Beban Mayor (Kgf) | Tipe Indentor | Tipe Material Uji |
|---|---|---|---|
| A | 60 | 1/16” bola intan kerucut | Sangat keras, tungsten, karbida |
| B | 100 | 1/16” bola | Kekerasan sedang, baja karbon rendah dan sedang, kuningan, perunggu |
| C | 150 | Intan kerucut | Baja keras, paduan yang dikeraskan, baja hasil *tempering* |
| D | 100 | 1/8” bola | Besi cor, paduan alumunium, magnesium yg dianealing |
| E | 100 | Intan Kerucut | Baja kawakan |
| F | 60 | 1/16” bola | Kuningan yang dianealing dan tembaga |
| G | 150 | 1/8” bola | Tembaga, berilium, fosfor, perunggu |
| H | 60 | 1/8” bola | Pelat alumunium, timah |
| K | 150 | ¼” bola | Besi cor, paduan alumunium, timah |
| L | 60 | ¼” bola | Plastik, logam lunak |
| M | 100 | ¼” bola | Plastik, logam lunak |
| R | 60 | ¼” bola | Plastik, logam lunak |
| S | 100 | ½” bola | Plastik, logam lunak |
| V | 150 | ½” bola | Plastik, logam lunak |

Pemilihan skala yang tepat juga sangat mempengaruhi terhadap hasil pengukuran kekerasan. Contohnya pada material lunak digunakan *Rockwell* B dengan indentor bola baja, bila diganti dengan yang lain maka harga kekerasan yang didapat tidak benar. Tidak ada batasan maksimum pada pengukuran kekerasan dengan menggunakan indentor intan. Tetapi bagaimanapun, *Rockwell* C sebaiknya tidak digunakan pada material tungsteen, karena material tersebut akan retak atau umur indentornya intan akan berkurang. *Rockwell* A adalah skala yang dapat diterima dalam pengujian kekerasan produk industri karbida. Skala yang umum dipakai dalam pengujian *Rockwell* adalah :

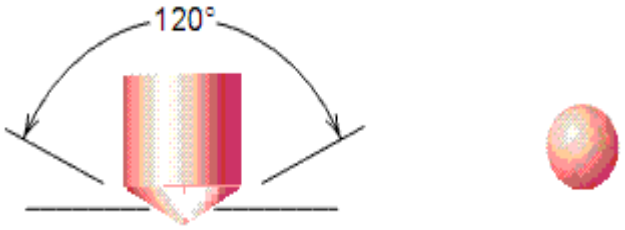
1. HRa (Untuk material yang sangat keras)
2. HRb (Untuk material yang lunak). Identor berupa bola baja dengan diameter 1/16 Inchi dan beban uji 100 Kgf.
3. HRc (Untuk material dengan kekerasan sedang). Identor berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derjat dan beban uji sebesar 150 kgf.

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (specimen) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut.




Gambar 12. Alat pengujian kekerasan (Callister, 2001)

Indentor terbuat dari baja yang diperkeras berbentuk bola dan selain itu ada juga yang berbentuk kerucut intan. Indentor bola mempunyai ukuran diameter masing-masing 1,588 mm, 3,175 mm, 6,350 mm dan 12,70 mm. Sedangkan beban yang tersedia adalah 10, 60, 100 dan 150 kg.

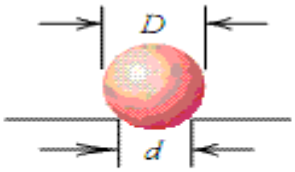



Gambar 13. Bentuk indentor *rockwell* (Callister, 2001)

## 2. Pengujian kekerasan *Brinell*

Pengujian kekerasan *Brinell* menggunakan penumbuk (penetrator) yang terbuat dari bola baja yang diperkeras (tungsten carbide). Diameter bola adalah 10 mm, lihat gambar dan beban standar antara 500 dan 3000 kg dengan peningkatan beban 500 kg. Selama pembebanan, beban ditahan 10 sampai 30 detik. Pemilihan beban tergantung dari kekerasan material, semakin keras material maka beban yang diterapkan juga semakin besar.

Pengujian kekerasan dengan metode *Brinnel* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (identor) yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut (specimen). Dalam pengujian brinnel biasa dinyatakan dalam contoh : HB 5 / 750 / 15 hal ini berarti bahwa kekerasan *brinell* hasil pengujian dengan bola baja (identor) berdiameter 5 mm, beban uji adalah sebesar 750 N per 0,102 dan lama pengujian 15 detik. Mengenai lama pengujian itu tergantung pada material yang akan diuji. Untuk semua jenis baja lama pengujian adalah 15 detik sedang untuk material bukan besi lama pengujian adalah 30 detik.




Gambar 14. Bentuk indentor *Brinell* (Callister, 2001)

$$HB = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \qquad (1)$$

HB = Angka kekerasan *Brinell*

P = Beban

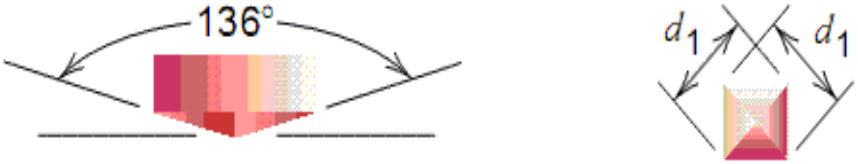
Angka kekerasan brinell disimbolkan dengan HB. Ketebalan maksimum spesimen sama dengan indentor, sedangkan jarak antar penjejakan sama dengan pengujian *rockwell*. Pengujian ini juga memerlukan permukaan yang datar dan halus.

**3. Pengujian kekerasan *Knoop* dan *Vickers***

Kedua jenis pengujian ini menggunakan indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid. Beban yang dikenakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian *rockwell* dan brinel yaitu antara 1 sampai 1000 gram. Hasil penjejakan diukur dengan mikroskop lalu dikonversikan menjadi angka kekerasan.

Pengujian kekerasan dengan metode *vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak $136^o$ yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Dalam praktiknya, pengujian *vickers* biasa dinyatakan dalam (contoh ) : HV 30 hal ini berarti bahwa kekerasan *vickers* hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 15 detik. Contoh lain misalnya HV 30 / 30 hal ini

berarti bahwa kekerasan *vickers* hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 30 detik.

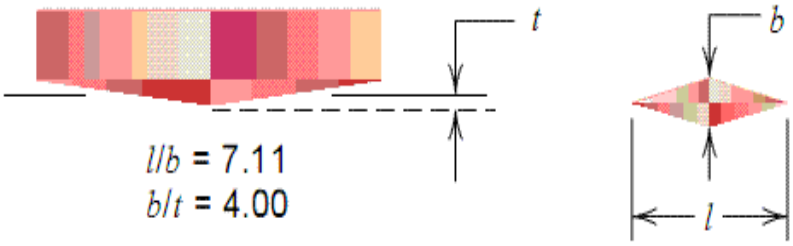



Gambar 15. Bentuk indentor *Vickers* (Callister, 2001)

$$\mathbf{HV = 1{,}854\ P/d^2} \qquad (2)$$

HV = Angka kekerasan *Vickers*

P = Beban




Gambar 16. Bentuk indentor *Knoop* ( Callister, 2001)

$$\mathbf{HK = 14{,}2\ P/l^2} \qquad (3)$$

HK = Angka kekerasan *Knoop*

P = Beban

Kekerasan *Knoop* dan *Vickers* dilambangkan dengan HK dan HV. Kedua jenis pengujian ini cocok untuk pengujian dengan material yang nilai kekerasannya rendah. *Knoop* biasanya digunakan untuk mengukur material yang getas seperti keramik.