

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut Puja (2010), limbah serbuk gergaji kayu pohon kelapa sebagai bahan baku pembuatan kampas rem pada kendaraan sepeda motor dengan matrik pengikat resin epoksi memiliki nilai koefisien gesek komposit sebesar 0,445. Nilai tersebut lebih besar dari koefisien gesek kampas rem Honda Supra sebesar 0,34. Nilai koefisien gesek sebesar 0,445 dimiliki oleh komposit dengan kandungan partikel 55% ( $v/v$ ). Komposit dengan kandungan partikel 46% ( $v/v$ ) memiliki laju keausan terendah 4,13  $mm^2/kg$  (ketahanan aus terbaik), meskipun masih lebih tinggi dari harga laju keausan spesifik kampas rem Honda Supra (2,04  $mm^2/kg$ ). Komposit dengan kandungan partikel 37% memiliki sifat impak tertinggi (tenaga patah 0,27 joule dan keuletan 2,87  $kJ/mm^2$ ). Pengarangan dilakukan pada suhu 200°C dan 300°C selama dua (2) jam dengan tujuan meningkatkan kadar karbon. Data yang dihasilkan tersebut menunjukkan bahwa limbah serbuk gergaji kayu pohon kelapa dapat digunakan untuk bahan material komposit alam yang unggul.

Uji mekanis terhadap kampas rem *asbestos* dan kampas rem *non-asbestos* (Syawaludin, 2008) dilakukan dengan uji kekerasan dan uji keausan abrasif. Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell pada beban sebesar 100 kgf, indenter bola baja berdiameter  $\frac{1}{6}$  inchi, dan *pre load* sebesar 100 kgf, didapat nilai kekerasan kampas rem *asbestos* sebesar rata-rata 16 HRB, dan pada nilai kekerasan kampas rem *non-asbestos* sebesar rata-rata 23 HRB. Pengujian keausan abrasif dilakukan dengan metode *Oghoshi* dengan alat uji *Oghoshi Testing Machine*, didapat nilai keausan abrasif spesifik sebesar  $0.18 \times 10^{-6} mm^3/mm$  pada kampas rem *asbestos*, sedangkan pada kampasrem non asbestos didapat nilai keausan abrasif spesifik sebesar  $0.2 \times 10^{-6} mm^3/mm$ .

#### 2.2. Pengertian Rem

Rem (Sularso, 1987) merupakan suatu perangkat yang berfungsi untuk mengatur putaran poros, menghentikan putaran poros, dan mencegah putaran yang tidak dikehendaki. Pada kendaraan, rem berfungsi untuk memperlambat dan menghentikan putaran roda. Terdapat dua macam efek pengereman yaitu pengereman secara mekanis yang dapat diperoleh dengan gesekan, dan efek pengereman secara elektrik. Rem gesek banyak dijumpai pada kendaraan. Rem mekanis gesek menggunakan prinsip gaya gesek, dimana pada rem mekanis ini terdapat suatu komponen yang digesekkan terhadap poros atau drum yang berputar. Komponen yang digesekkan tersebut bernama kampas rem.

Rem gesek (Sularso, 1987) dapat diklasifikasikan berbagai macam diantaranya yang paling sering ditemui adalah diantaranya rem blok, rem drum, rem cakram, dan rem pita. Rem gesek yang digunakan untuk kendaraan biasanya adalah rem jenis cakram, dan rem jenis drum. Kedua jenis rem tersebut dapat dioperasikan secara mekanis, hidrolis, dan *pneumatic* sesuai dari jenis kendaraannya. Untuk rem jenis pengoperasian mekanis sering dijumpai pada kendaraan ringan seperti sepeda, dan sepeda motor. Untuk kendaraan yang medium seperti mobil penumpang ataupun mobil barang sudah menggunakan pengoperasian hidrolis. Sedangkan untuk kendaraan berat seperti Truk dan *Big Bus*, menggunakan *full pneumatic* atau biasa disebut dengan *Full Air Brake System*.

Cara kerja dari rem (Sularso, 1987) adalah mengubah energi kinetik gerak suatu kendaraan menjadi energi panas. Rem bekerja disebabkan oleh tekanan yang melawan gerak putar dari sebuah roda. Efek pengereman terjadi karena gesekan antara dua objek yaitu kampas rem terhadap cakram atau terhadap drum .

### **2.2.1. Rem Cakram**

Rem cakram (*disc brake*) (Sularso, 1987) merupakan rem yang bekerja menggunakan cakram (*disc*) sebagai komponen yang digesekkan langsung terhadap kampas rem. Rem cakram bekerja dengan cara menjepit cakram yang biasanya berputar searah dan satu sumbu dengan roda kendaraan. Ketika kampas rem diberi tekanan dari piston, maka reaksi yang terjadi adalah gaya gesek antara kampas rem

dengan cakram sehingga menghambat putaran dari cakram yang berhubungan dengan roda akan menghambat laju dari sebuah kendaraan.



**Gambar 2.1.** Rem Cakram (*Disk Brake*).

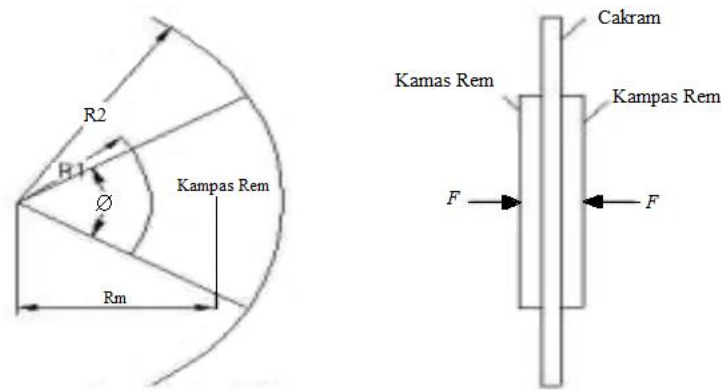
(Speedwaymotors.com)

*Calliper* (Robert, 2004) merupakan komponen pada rem cakram yang memiliki piston untuk memberikan gaya terhadap kampas rem. *Calliper* juga memiliki saluran fluida yang terhubung dengan tuas pengendali rem. *Calliper* rem cakram dapat bekerja dengan pengendalian hidrolik atau dengan pengendalian pneumatik. *Calliper* tidak memiliki pegas pembalik yang membuat proses pengereman berhenti, selama tuas rem tidak diberi gaya, maka gaya pengereman juga tidak terjadi. Hal tersebut yang membuat rem cakram diklaim lebih handal dan lebih konsisten dari rem drum yang memerlukan *adjuster* untuk memperkecil celah antara kampas rem dengan permukaan drum. Meskipun rem cakram lebih konsisten dari rem drum, pengereman yang dihasilkan oleh rem cakram cenderung lebih kasar dari rem drum.

Pada rem cakram terdapat komponen yang bernama kampas rem. Kampas rem yang diberi tekanan dari piston akan menjepit cakram yang berputar seperti pada Gambar 2.1, sehingga terciptalah proses pelambatan. Kampas rem (Sularso, 1987) terbuat dari material yang memiliki nilai koefisien gesek yang tinggi. Hal

tersebut dibutuhkan untuk menciptakan daya pengereman yang maksimal. Selain itu sifat material kampas rem juga harus memiliki sifat abrasif yang lebih tinggi dari material cakram. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari kerusakan pada cakram dan memperkecil biaya perawatan dari rem cakram. Material bahan pembuatan piringan cakram (Sularso, 1987) biasanya menggunakan besi cor (*cast iron*) atau baja cor (*steel iron*). Besi cor memiliki koefisien gesek pada kondisi kering sebesar 0,10-0,20, dan nilai kekerasan Brinell dari besi cor (SAE J431) untuk material cakram sebesar 120 hingga 269 tergantung *grade* besi tuang yang digunakan.

Kampas rem adalah spesimen yang akan dijadikan sebagai bahan tugas akhir kali ini. Berikut perhitungan (Sularso dan Suga, 1987) nilai momen rem  $T_1$  (kg.mm) dari satu sisi rem cakram sesuai dengan notasi pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Notasi untuk rem cakram

(Sularso & Suga, 1987)

$$T_1 = \mu F K_1 R_m \quad (2.1)$$

Dimana  $\mu$  adalah nilai koefisien gesek kampas rem.  $F$  adalah gaya yang diberikan oleh piston, sedangkan  $K_1$  dan  $R_m$  dihitung dengan rumus:

$$K_1 = \frac{2\phi}{3 \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)} \left[ 1 - \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \right] \quad (2.2)$$

$$R_m = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (2.3)$$

Sesuai dengan notasi pada Gambar 2.2, maka

$K_1$  = Kapasitas Enersi Lapisan

$R_m$  = Jarak titik pusat kampas rem dengan sumbu poros.

$R_1$  = Jarak dari titik pusat cakram dengan tepi dalam kampas rem  
(Gambar 2.2.)

$R_2$  = Jarak dari titik pusat cakram dengan tepi luar kampas rem  
(Gambar 2.2.)

Rem cakram (Robert, 2004) adalah sistem rem yang terbuka, sehingga rem cakram memiliki keunggulan lebih cepat dingin apabila panas, dan lebih cepat kering apabila basah. Rem cakram (Sularso, 1987) memiliki nilai faktor efektifitas rem (FER) yang rendah, sehingga dianggap lebih handal dan lebih banyak dipakai dari pada rem drum, namun rem cakram memiliki luas permukaan gesek yang lebih kecil, sehingga daya untuk melakukan pengereman rem cakram harus ditingkatkan lebih besar dari pada rem drum. Oleh sebab itu, pengoperasian rem cakram minimal menggunakan hidrolik. Menurut Sularso dan Suga (1987), FER dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$(\text{FER}) = \frac{2 \times T}{F \times r} = 2\mu \quad (2.4)$$

Dimana : FER = Faktor Efektifitas Rem

$T$  = Momen Rem

$\mu$  = Koefisien Gesek

$F$  = Gaya dari piston

$r = K_1 \times R_m$  (Pusat Tekanan)

### 2.3. Pengertian Komposit

Komposit (Schwart, 1984) adalah material yang terbentuk dari dua bahan atau lebih yang setiap bahannya memiliki karakteristik yang berbeda dan terpisah dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal. Komposit

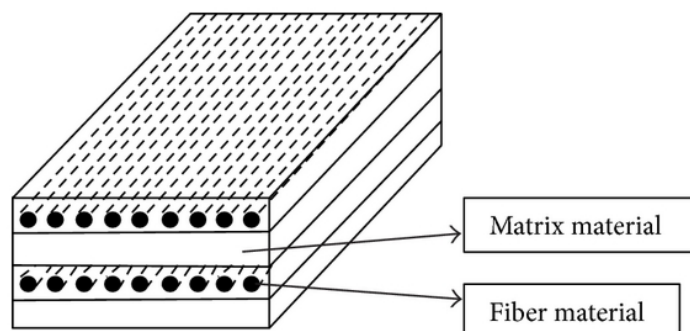
diciptakan dengan tujuan untuk mendapatkan material baru yang mempunyai sifat lebih baik dari komponen material pembentuknya. Bahan komposit terdiri dari dua fasa yaitu fasa matrik yang berfungsi sebagai pengikat, dan material penguat (*filler*) berupa material solid, biasanya material penguat bisa berbentuk serat, partikel, serpihan, dan lapisan.

Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang tinggi, tahan korosi dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah. Kekuatan tarik dari komposit serat karbon lebih tinggi daripada semua paduan logam. Selain itu komposit dari bahan alam memiliki bahan penyusun yang terbarukan.

Menurut Schwartz (1984), bentuk material dan penyusun material komposit terbagi menjadi lima jenis yaitu:

#### 1. Komposit Serat

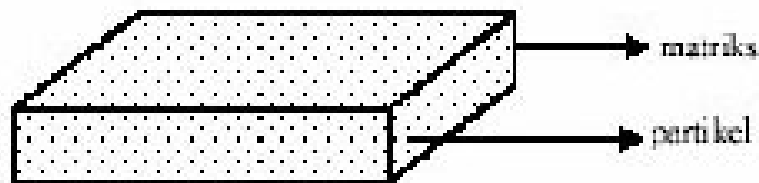
Komposit serat (*fibrous composite*) merupakan material komposit yang terbentuk dari gabungan serat dengan matrik. Sifat dan kandungan seratnya akan sangat menentukan sifat material komposit yang dihasilkan. Kekuatan komposit serat ditentukan oleh aktifitas ikatan kimia atau ikatan mekaniknya. Ikatan yang kurang baik antara serat dengan matrik dapat menyebabkan kegagalan.



**Gambar 2.3.** Komposit serat.

## 2. Komposit partikel

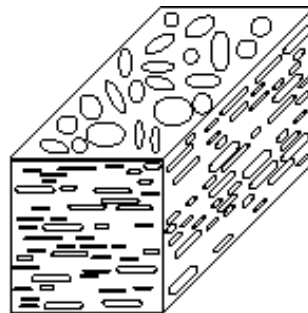
Komposit partikel (*Particular Composite*) merupakan material komposit yang terbentuk dari bahan matrik sebagai pengikat dan material serbuk/butiran/partikel sebagai bahan penguatnya. Partikel sebagai bahan penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit, karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matrik. Hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan komposit partikel adalah kerapatan antar partikel, oleh karena itu pembuatan komposit partikel biasanya dilakukan dengan metode penekanan.



**Gambar 2.4.** Komposit Partikel.

## 3. Komposit Serpih

Komposit jenis ini biasanya bahan penguat terdistribusi secara acak dalam matriksnya, sehingga komposit yang dihasilkan lebih bersifat isotropis (material tidak tergantung arah sumbu koordinatnya) dari pada anisotropik (material tergantung arah sumbu koordinat).



**Gambar 2.5.** Komposit Serpih

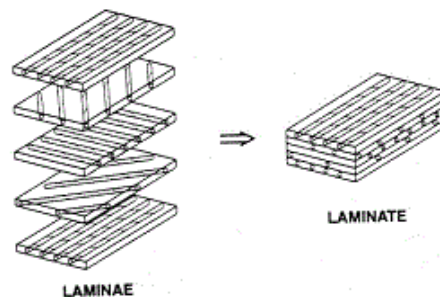
#### 4. Komposit Skeletal (*filled*)

Komposit skeletal adalah komposit yang mengandung partikel dimana pemberian partikel tersebut tidak dimaksudkan sebagai bahan penguat, namun digunakan untuk memperbesar volume komposit. Di dalam komposit ini biasanya diberi tambahan material penguat atau *filler* ke dalam matriknya dengan struktur tiga dimensi.

#### 5. Komposit laminat

Komposit laminat (*laminated composite*) merupakan jenis komposit yang tersusun dari dua atau lebih material lapisan/lamina. Menurut (Gay dkk, 2003) terdapat tiga karakter yang identik dimiliki oleh komposit laminat yaitu :

- a. Isotropik, sifat material tidak tergantung pada arah sumbu koordinat, sehingga sifat material pada arah sumbu  $x,y,z$  adalah sama.
- b. Ortotropik, sifat material pada dua sumbu yang saling tegak lurus pada suatu titik adalah sama, sedangkan pada arah satu sumbu lainnya berbeda.
- c. Anisotropik, sifat material tergantung pada arah sumbu koordinat, atau sifat material yang berbeda pada setiap arah yang berbeda. Misalnya pada komposit laminat yang tersusun dari lapisan-lapisan dengan arah serat yang berbeda-beda.





## Gambar 2.6. Komposit Laminat.

(www.fao.org)

### 2.4. Matrik

Dalam komposit (Hartomo dkk, 1992) matrik berfungsi sebagai pengikat antar bahan menjadi sebuah unit struktur. Selain sebagai pengikat, matrik juga berguna untuk melindungi dari kerusakan eksternal, memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara bahan penguat (*filler*) dan matrik, sehingga keduanya bisa saling berhubungan.

Dalam pembuatan komposit, material matrik yang sering digunakan adalah bahan polimer. Adapun jenis polimer yaitu:

1. *Thermoplastik*

Misalnya: *polyamide (PI)*, *Polysulfone (PS)*, *Polyphenylene Sulfide (PPS)*, *Polypropylene (PP)*, *Polyethylene (PE)*, *Poluetheretherketone (PEEK)*, *nylon*.

2. *Thermoset*

Misalnya: *Epoxy*, *Polyester*, *Phenolic*, *Plenol*, *Resin Amino*, *Resin Furan*.

Pemilihan bahan matrik harus disesuaikan dengan jenis *filler* yang digunakan, agar matrik memiliki kecocokan dengan bahan penguat (*filler*) secara kimia agar kedua fasa bahan terikat sempurna, karena pembuatan komposit membutuhkan ikatan permukaan bahan yang kuat antara *filler* dan matrik. Untuk memilih matrik harus diperhatikan sifat-sifatnya, antara lain tahan panas, tahan cuaca buruk, dan tahan guncangan untuk menciptakan komposit yang baik.

#### 2.4.1. *Epoxy*

*Epoxy* (hartomo dkk, 1992) merupakan salah satu matrik yang memiliki kegunaan yang luas dalam dunia industri sebagai perekat, cat pelapis, dan benda-benda cetakan (*mold*). Resin epoxy merupakan salah satu matrik *thermoset* dari reaksi resin poliepoкси dengan zat pengeras (*curing*). Terdapat dua macam sistem *epoxy* yaitu sistem satu komponen dan sistem dua komponen. Sistem satu komponen terdapat pada resin *epoxy* jenis resin larutan, pasta resin cair, bubuk,

pellet, dan pasta. Sistem dua komponen terdiri atas resin yang bereaksi dengan pengeras (*hardener*) dan menjadi unggul dalam ketahanan mekanik dan kimia. Biasanya dijual dalam dua komponen, satu kaleng berisi resin, satu kaleng lain berisi hardener. Sifat resin *epoxy* bervariasi tergantung dari pencampuran antara resin dengan pengerasnya, dan pada kondisi lingkungan.

Pemakaian resin *epoxy* di bidang teknik dan industri sudah sangat luas. Pemakaian resin *epoxy* meliputi bidangomotif, pembuatan pesawat, industri kulit, kayu, beton, bangunan, furnitur, dan elektronik. Penggunaan tersebut tentunya dengan pertimbangan dan perhitungan yang berbeda, maka jenis resin *epoxy* memiliki jenis yang beragam dengan keunggulan dan kegunaan yang berbeda. Beragam macam *epoxy* menurut Hartomo dkk (1992):

1. *Epoxy-nylon*

*Epoxy-nylon* merupakan *epoxy* jenis satu komponen terbentuk dari campuran termoset resin *epoxy* dengan nylon. Memiliki ketahanan aus yang sangat baik, tahan pada temperatur 75°C sampai 95°C. Biasa digunakan untuk merekatkan antar logam di industri pesawat terbang.

2. *Epoxy-poliamida*

*Epoxy-poliamida* merupakan jenis resin *epoxy* dua komponen, terdiri dari termoset sintetik reaksi *epoxy* dan resin poliamida yang memiliki struktur bercabang dengan gugus-gugus *amino alifatik*. Kedua komponen dicampur saat akan digunakan. Ketahanan temperatur resin ini antara -70°C hingga 200°C. Resin *epoxy* ini cocok digunakan untuk merekatkan material jenis logam, kaca, keramik, kayu, dan plastik. Sifat dapat diatur sesuai dengan perbandingan pencampuran dari dua komponen.

3. *Epoxy-polisulfida*

*Epoxy-polisulfida* merupakan *epoxy* sistem dua komponen, dimana komponen tersebut diantaranya resin *epoxy* dan polisulfida cair yang

dicampur terlebih dahulu jika akan digunakan. Bentuk *epoxy* ini adalah cair ketika sebelum dicampur. Epoxy ini mampu tahan hingga suhu  $-100^{\circ}\text{C}$ . Bahkan pada campuran tertentu mampu tahan pada suhu nitrogen cair tanpa mengalami getas. Resin epoxy ini cocok digunakan untuk logam, kaca, keramik, kayu, karet, dan plastik. Pancampuran resin epoxy dengan polisulfida hingga 50% berat komposit mampu meningkatkan kekuatan geser, tegangan tekuk, dan memperbaiki sifat lunak..

#### 4. Epoxy-poliuretan

*Epoxy-poliuretan* memiliki bentuk fisik pasta satu komponen dengan katalis laten dan penguat aluminium. *Epoxy-poliuretan* terdiri dari campuran resin epoxy dengan polimer uretan (*karbamat*). Pada suhu tinggi epoxy ini mampu bertahan lebih baik dari pada *epoxy-nylon*.

Penggunaan resin *epoxy* memiliki keunggulan diantaranya (Hartomo dkk, 1992):

1. Tahan terhadap korosi.
2. Kekuatan kohesif tinggi.
3. Tahan terhadap zat kimia.
4. Stabil terhadap banyak asam.
5. Fleksibilitas dan kekuatan tinggi.
6. Keaktifan permukaan tinggi.
7. Tidak ada efek samping terhadap suatu produk yang telah dibentuk atau dicetak (saat *curing*).
8. Tingkat penyusutan volumenya rendah setelah dicetak dan kestabilan dimensinya baik.
9. Hampir semua plastik dapat melekat kecuali resin silikon, *fluoresin*, *polyetilen*, dan *polypropilen*.

**Tabel 2.1.** Sifat mekanik beberapa jenis material polymers (Smith, Hashemi, 2006)

<i>Density</i>	<i>Ultimate</i>	<i>Yield</i>	<i>Modulus</i>	<i>At %</i>	<i>Izod</i>
----------------	-----------------	--------------	----------------	-------------	-------------

<i>Type</i>	<i>Tensile Strength</i> ( $\text{gr/cm}^3$ )	<i>Strength</i> (MPa)	<i>Of</i> <i>Elasticity</i> (MPa)	<i>Of</i> <i>Elasticity</i> (GPa)	<i>Elongation</i> <i>Break</i>	<i>Impact</i> <i>Strength</i> (J)
<i>Epoxy</i>	1.2	70	60	2.25	5	0.3
<i>Phenolic</i>	1.705	56	52	7	1.3	0.18
<i>Polybutylene</i>						
<i>Terephthalate</i>  (PBT)	1.355	55	67	12	148	0.27
<i>Nylon 66</i>	1.095	62	63	2.1	152	7
<i>Polyester</i>	1.65	58	70	3.5	2.4	0.22
<i>Polyethylene</i>	0.925	16	16	0.25	350	1.068
<i>Polypropylene</i>	1.07	50	28	2.25	427	0.16
<i>Polyvinyl</i>						
<i>Chloride</i>  (PVC)	1.305	47	38	3.1	62	5.3
<i>Polymethyl</i>						
<i>Methacrylate</i>  (PMMA)	1.17	62	69	2.9	15	0.16

## 2.5. Potensi Serbuk Kayu

Kayu merupakan bagian batang, cabang, serta ranting yang mengalami pengerasan akibat dari proses akumulasi selulosa dan lignin pada dinding sel. Kayu banyak digunakan dalam berbagai keperluan seperti perabotan rumah dan bahan

bangunan. Bahan kayu dipilih karena memiliki sifat kuat, isolator, dan mudah dibentuk (Hoadley, 2000).

Kayu terbentuk dari beberapa unsur kimia diantaranya adalah selulosa, lignin, hemiselulosa, dan air. Selulosa sendiri merupakan bahan pembuatan kanvas rem di beberapa merek pabrikan di dunia ([www.boyuan-fiber.com](http://www.boyuan-fiber.com)). Selain sebagai kanvas rem material kayu juga digunakan sebagai bahan komposit lain karena kandungan selulosanya yang tinggi berkisar 40-50% dari berat ([id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)). Jumlah selulosa pada kayu jenis kayu *Eucalyptus pellita* sendiri mencapai 49,72 (Siti Fatimah, 2013).

Ketersediaan material kayu di Indonesia sangat tinggi terutama kayu yang berkualitas berstandar *Forest Stewardship Council* (FSC). Pada tahun 2015 setidaknya Indonesia mampu memanen kayu berstandar FSC sebesar 300 juta meter kubik ([ekonomi.kompas.com](http://ekonomi.kompas.com)). Iklim tropis di wilayah Indonesia juga sangat mendukung untuk pertumbuhan berbagai macam pepohonan yang menghasilkan kayu.



**Gambar 2.7.** Limbah serbuk gergaji kayu di tempat pengolahan kayu wilayah minggir, sleman.

## **2.6. Metode Cetak Tekan**

Metode dengan cetak tekan (*Press Mold*) (Schwartz, 1984) merupakan metode pembuatan komposit yang paling populer dan paling tua. Metode ini dianggap lebih praktis dalam pengerjaannya, meskipun biaya awal untuk pembuatan cetakan dan

alat pressnya memerlukan biaya yang tinggi. Kelebihan yang diberikan oleh metode ini (Schwartz, 1984) yaitu:

- a. Hasil pencetakan memiliki nilai toleransi yang lebih kecil.
- b. Proses pencetakan lebih cepat.
- c. Hasil pencetakan memiliki sifat material lebih baik karena mengalami proses penekanan dengan daya tinggi.
- d. Tingkat keseragaman lebih baik karena menggunakan cetakan yang sama.
- e. Menghindari lag panas selama proses pembuatan karena sebagian dipanaskan secara langsung oleh cetakan.

Metode cetak tekan secara umum tidak memerlukan keahlian operator secara khusus. Hasil dari metode cetak tekan tidak terlalu dipengaruhi oleh keterampilan seorang operator. Tugas utama operator pada metode cetak tekan adalah melakukan persiapan, mengisi cetakan, melakukan proses penekanan, membongkar hasil cetakan, dan melakukan proses perapian sebagai *finishing*.

Prinsip metode ini adalah menekan cetakan yang telah diisi dengan adonan komposit. Proses penekanan dilakukan dengan alat *press* menggunakan sistem hidrolis. Besar kekuatan tekan pada metode ini akan mempengaruhi sifat dan kualitas dari hasilnya. Selain kekuatan penekanan, yang mempengaruhi sifat dari metode cetak tekan adalah campuran antara bahan penguat dengan matriks merata, oleh karena itu viskositas matriks (schwartz, 1984) harus sesuai ( $\leq 200$  cP untuk matriks poliester, dan  $\leq 500$  untuk epoksi dan venol).

## **2.7. Keausan**

Keausan (Surdia, 1995) adalah rusaknya ketelitian sebuah benda padat yang mengakibatkan hilangnya sejumlah lapisan material. Keausan merupakan respon terhadap interaksi antar permukaan atau gesekan, bukan sifat asli suatu material.

Keausan merupakan hal yang biasa terjadi dan merupakan hal yang sebenarnya merugikan, namun kerugian tersebut tidak bisa dihindari. Kerugian yang diakibatkan oleh terjadinya keausan dapat diminimalkan sesuai perhitungan dan penentuan bahan yang diinginkan. Pada sistem pengereman, material (Robert, 2004) yang sengaja dibuat abrasif biasanya kampas rem. Kampas rem sengaja dibuat abrasif untuk memperkecil biaya perawatan rem kendaraan dan bertujuan untuk tidak merusak piringan atau drum. Keausan yang terjadi pada rem disebut sebagai keausan abrasif.

Keausan abrasive merupakan keausan yang terjadi karena interaksi mekanis gesek antara dua atau lebih material solid, dimana salah satu material yang berinteraksi tersebut lebih lunak dan material lain lebih keras. Interaksi berupa gesekan tersebut mengakibatkan material yang lebih lunak mengalami pengikisan atau abrasi. Fenomena seperti ini dapat ditemui pada sistem pengereman yaitu gesekan mekanis antara kampas rem dengan cakram atau drum tromol. Selain itu dapat juga ditemukan pada kampas kopling dengan *flends*.

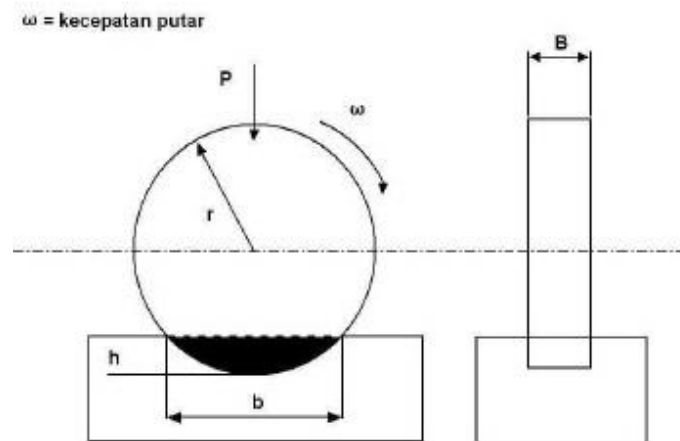
Nilai keausan abrasive dapat dilihat menggunakan alat uji bernama *Oghoshi Testing Machine*. Alat uji ini bekerja dengan cara memberi beban gesek terhadap benda uji. Gesekan terjadi antara benda uji dengan *revolving disc* yang berputar sesuai dengan kecepatan putar dan pembebanan yang telah disesuaikan. Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan, maka semakin tinggi volume material yang terkelupas dari benda uji (terabrasi). Beban yang digunakan untuk melakukan pengujian keausan abrasi metode Ogoshi dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Variasi beban pengujian keausan abrasi metode Ogoshi.

Gear Ratio $E/F$	36/108	48/96	72/72	96/48	108/36
Beban ( $P_o$ )	2,12	3,18	6,36	12,72	19,08

**Tabel 2.3.** Variasi jarak abrasi.

Gear Ratio $D/C$	36/108	48/96	72/72	96/48	108/36
Jarak Abrasi ( $Po$ )	66,6	100	200	400	600



**Gambar 2.8.** Ilustrasi Pengujian metode *Oghoshi*.

(Keausan Material Teknik)

Nilai keausan dapat dinyatakan sebagai nilai spesifik abrasi  $W_s$  (*Wear Spesific*) dengan satuan ( $mm^2/kg$ ):

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{8 \cdot r \cdot P_o \cdot l_o} \quad (2.5)$$

Dimana :  $P_o$  = Beban

$l_o$  = Jarak luncur/Abrasi



$Ws = \text{Harga Spesifik Abrasi } (mm^2/kg)$

$B = \text{Tebal Revolving Disc}$

$b = \text{Lebar Jejak Terabrasi}$

$r = \text{Jari-jari Revolving Disc}$

## 2.8. Kekerasan

Kekerasan merupakan sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material. Nilai kekerasan suatu material perlu diketahui untuk menentukan material tersebut akan lebih sesuai digunakan pada suatu produk. Material (Breumer, 1994) dengan nilai kekerasan tinggi akan bertahan pada beban tekan dan beban gesek yang tinggi, sebaliknya material dengan nilai kekerasan rendah tidak mampu menahan beban gesek atau beban tekan yang tinggi dan akan mengalami deformasi.

Kekerasan (Surdia, 1985) dapat didefinisikan sebagai ukuran kemampuan suatu bahan terhadap deformasi yang diakibatkan oleh objek lain. Nilai kekerasan dapat diketahui dengan beberapa metode diantaranya yaitu pengujian penekanan, pengujian goresan, dan pengujian *resilience*. Dari ketiga metode pengujian tersebut yang paling sering dilakukan untuk mengetahui kekerasan suatu material adalah metode penekanan, karena data yang dihasilkan dari metode penekanan lebih akurat dari pada metode lain.

Prinsip kerja metode penekanan (Breumer, 1994) adalah menekan benda uji menggunakan *indentor*. *Indentor* yang menekan benda uji akan meninggalkan bekas tekanan yang akan diteliti dan dihitung untuk mengetahui kemampuan benda uji dalam melawan perubahan bentuk tetap. Terdapat tiga macam metode pada pengujian kekerasan dengan metode penekanan yaitu metode Brinell, metode, Rockwell, dan metode Vickers. Ketiga metode tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan yang berbeda yang dapat disesuaikan dengan sifat material yang akan diuji.

Pada pengujian kekerasan kampas rem untuk tugas akhir ini menggunakan metode Brinell karena (Breumer, 1994) sangat sesuai untuk pengujian kekerasan

material tidak homogen seperti komposit. Selain itu proses pengujian kekerasan metode Brinell juga lebih mudah dan murah. Kesulitan dari metode Brinell adalah mengukur diameter lekukan bekas penekanan (*indentasi*) yang membutuhkan ketelitian yang tinggi.

### 2.8.1. Uji Kekerasan Brinell

Metode pengujian kekerasan Brinell merupakan pengujian kekerasan jenis penekanan. Metode Brinell (ASTM E10-01, 2003) menggunakan indenter berbentuk bola dengan variasi ukuran diameter 1 mm hingga 10 mm dengan nilai toleransi seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

**Tabel 2.4.** Toleransi diameter bola indenter metode Brinell (ASTM E10-01, 2003)

Diameter Bola (mm)	Toleransi (mm)
10	$\pm 0.005$
5	$\pm 0.004$
2.5	$\pm 0.003$
2	$\pm 0.003$
1	$\pm 0.003$

Variasi penekanan pada metode Brinell menggunakan berbagai macam nilai beban uji mulai dari 1 kgf hingga 3000 kgf. Penggunaan beban uji (ASTM E10-01, 2003) pada pengujian metode Brinell disesuaikan dengan kuadrat diameter bola indenter dan ketebalan material yang akan diuji. Ketebalan benda yang akan diuji harus sesuai dengan standar metode Brinell, selain itu permukaan spesimen harus rata dan tidak terdapat benjolan yang mengakibatkan proses pengukuran menjadi susah. Standar ketebalan minimal untuk pengujian Brinell dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2.5.** Ketebalan minimum pengujian metode Brinell (ASTM E10-01, 2003)

Minimum Thickness of Specimen		Minimum hardness for which the Brinell test may safely be made		
In.	Mm	3000-kgf	1500-kgf	500-kgf
$\frac{1}{16}$	1.6	602	301	100
$\frac{1}{8}$	3.2	301	150	50
$\frac{3}{16}$	4.8	201	100	33
$\frac{1}{4}$	6.4	150	75	25
$\frac{5}{16}$	8.0	120	60	20
$\frac{3}{8}$	9.6	100	50	17

Prinsip pengujian kekerasan metode Brinell (ASTM E10-01, 2003) adalah menekan benda uji dengan nilai beban tertentu hingga meninggalkan bekas (*indentation*) yang nantinya akan diukur untuk mencari nilai kekerasan dalam skala Brinell. Bekas yang ditinggalkan penekanan alat uji Brinell berbentuk cekungan lingkaran sesuai dengan bentuk dari indenter alat uji Brinell yang berbentuk bola. Semakin dalam indenter menancap ke benda uji, maka diameter indentasi semakin besar. Diameter indentasi yang sudah didapat dengan alat ukur jangka sorong, selanjutnya dimasukkan ke dalam rumus standar metode Brinell sesuai ASTM 2003 seperti pada persamaan 2.6.

$$HBW = 0,102 \times \frac{2 \times F}{\pi \times D \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.6)$$

Dimana ; HBW = Nilai kekerasan skala Brinell

F = Beban

D = Diameter Indentor

d = Diameter bekas penekanan (*indentation*)

## 2.9. Pengujian Gesek

Gaya gesek (ASTM G115-98, 2003) merupakan gaya yang diakibatkan oleh bersentuhannya permukaan dua benda yang berlawanan arah. Gaya gesek dapat merugikan dan juga dapat menguntungkan. Pada kendaraan gaya gesek sangat diperlukan untuk percepatan dan perlambatan. Pada saat kendaraan melaju, traksi antara ban dengan aspal terjadi karena gaya gesek yang besar. Pada saat perlambatan gaya gesek diperlukan untuk melakukan pengereman. Gesekan pada proses pengereman terjadi pada kampas rem dengan drum, dan ban dengan aspal.

Gaya gesek terjadi karena adanya gaya-gaya yang bekerja pada permukaan halus atau kasar. Gaya-gaya tersebut dinamakan koefisien gesek ( $\mu$ ). Nilai koefisien gesek sangat mempengaruhi gaya gesek yang terjadi karena nilai gaya gesek berbanding lurus dengan nilai koefisien gesek, karena:

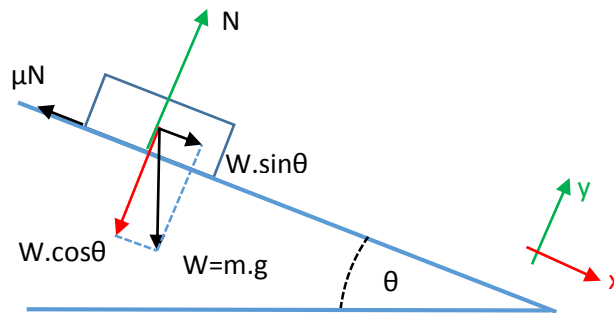
$$F = \mu N \quad (2.7)$$

Dimana, F = Gaya gesek

$\mu$  = koefisien gesek

$N = \text{Gaya Normal}$

Seperti pada persamaan 2.7 maka nilai dari koefisien gesek (ASTM G115-98, 2003) dapat diketahui dengan uji bidang miring seperti pada gambar 2.9 dimana nilai koefisien gesek ( $\mu$ ) bernilai sama dengan  $\tan \theta$ .



**Gambar 2.9.** Uji Koefisien Gesek Dengan Bidang Miring.

Nilai  $\theta$  dapat ditentukan dengan menaikkan papan miring sebelum benda meluncur. Pengukuran koefisien gesek sangat dipengaruhi oleh kontak antar muka benda yang bergesekan. Oleh karena itu luas permukaan spesimen untuk pengujian gesek dibuat seragam.

