

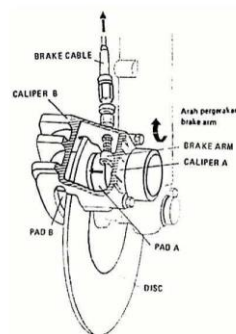
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Rem

Sistem pengereman merupakan komponen yang memiliki peran untuk Mengatur kecepatan kendaraan dengan menggunakan perlambatan pada roda kendaraan (Samudra, 2018). Fungsi pengereman menjadi krusial dalam aspek keselamatan berkendara, dan bila komponen ini mengalami gangguan dapat mengakibatkan risiko dalam mengemudi. Dalam konteks lain, sistem rem beroperasi dengan mengubah energi kinetik menjadi energi termal melalui gesekan.

Terdapat dua jenis sistem rem sepeda motor yaitu, sistem rem tromol dan cakram. Sistem rem cakram merupakan mekanisme pengereman yang mempergunakan gaya cengkeram di antara bagian yang bergerak dan bagian yang tetap. Rem cakram hidrolis adalah sistem pengereman yang umum digunakan dalam sepeda motor. Mekanisme kerja dari sistem ini berbasis pada pemanfaatan tekanan hidrolis, yang mengalirkan tenaga pengereman dari pedal atau handle rem ke sepasang sepatu rem atau pad rem. Mekanisme penggerak hidrolis mengikuti prinsip dasar hukum Pascal, ketika kita menginjak pedal atau handle rem, tekanan yang dihasilkan akan diubah menjadi tekanan dalam fluida oleh piston silinder. Kemudian, tekanan ini akan disalurkan melalui pipa atau slang rem menuju silinder roda atau kaliper rem, di mana tekanan fluida ini digunakan untuk menghasilkan gaya pengereman (Sumarno, 2018).



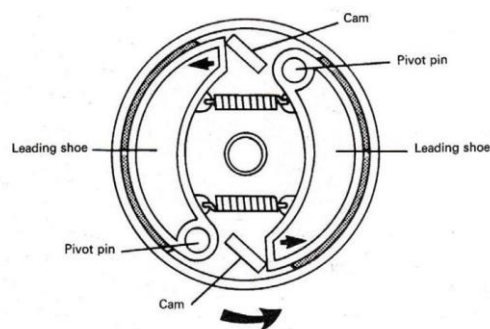
Gambar 2.1 Sistem Rem Cakram
(Nugraha, 2005)

2.2 Jenis – Jenis Rem

Berikut jenis – jenis rem antara lain:

1. Rem Tromol

Rem tromol adalah sistem pengereman di kendaraan yang mengandalkan gesekan antara kampas rem dan sebuah bagian berbentuk mangkuk. Perbedaannya dari rem cakram terletak pada arah gesekan. Pada rem cakram, gesekan terjadi dengan kedua kampas yang mendekat (menjepit), sehingga piringan cakram ditempatkan di antara kedua kampas tersebut. Sementara pada rem tromol, gesekan terjadi dengan arah yang berlawanan. Inilah sebabnya mengapa tromol yang terhubung dengan roda ditempatkan di sisi luar dari kedua kampas rem. Rem tromol memiliki beberapa kelebihan yaitu, lebih awet, aman dari kotoran luar sehingga lebih bersih. Kekurangan yang terdapat di rem tromol yaitu, sistem yang buruk dalam pemancaran panas, susah dalam pembersihan ruman rem, kurang responsive dikarenakan arah Gerakan saling menjauhi (Ramadhan, 2021).



Gambar 2.2 Kampas Rem Tromol Ganda
(Sumarno, 2018)

2. Rem Cakram

Sistem pengereman cakram terdiri dari sebuah cakram (disc rotor) yang terbuat dari baja yang ditempatkan di antara dua lapisan gesekan rem (disc pad) pada saat pengereman. Pengereman terjadi karena gesekan yang timbul saat cakram bersentuhan dengan pad, menghasilkan gaya pengereman (Ilham, 2021).

Pada dasarnya, prinsip operasi rem cakram melibatkan konversi energi kinetik kendaraan menjadi energi panas melalui proses gesekan antara dua permukaan.

Hasil dari perubahan ini mengakibatkan perlambatan sehingga mengurangi kecepatan kendaraan.



Gambar 2.3 Kampus Rem Cakram
(Sumarno, 2018)

2.3 Kampus Rem

Kampus rem merupakan salah satu komponen yang memiliki peran penting dalam sistem pengereman. Faktor utama dalam proses pengereman adalah terjadinya gesekan pada kampus rem. Oleh karena itu, penting untuk membuat kampus rem menggunakan bahan yang tidak hanya mampu menghasilkan gesekan yang efisien, tetapi juga memiliki ketahanan terhadap gesekan berulang dan memiliki kemampuan dalam menahan panas. (Barasa, 2014).

Bahan yang digunakan dalam produksi kampus rem standar umumnya melibatkan berbagai komponen seperti resin fenolik, serat, serbuk aluminium, grafit karbon, barium sulfat, alumina, asbestos, serta bahan lainnya. Untuk kampus rem jenis asbestos, komposisi bahan melibatkan sekitar 40 hingga 60% asbestos, 12 hingga 15% resin, 14 hingga 15% BaSO₄, dan sisanya terdiri dari karet ban bekas, sisa tembaga dari kerajinan, serta bahan lainnya. Sementara itu, untuk kampus rem non-asbestos, komponen meliputi aramid atau Kevlar, rockwool, fiberglass, potasiumtitanate, karbon serat, grafit, serat baja, BaSO₄, resin, dan karet butadiene nitril (Ilham, 2021).

Bahan komposit menjadi pilihan alternatif yang layak untuk digunakan dalam produksi kampus rem. Kemajuan dalam teknologi komposit terjadi dengan cepat karena memiliki karakteristik yang unik, seperti kemampuan untuk diperbaharui atau diperbarui, rasio kekuatan-berat yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan sifat-sifat lainnya.

2.4 Jenis – Jenis Bahan Kampas Rem

Salah satu utama dalam kendaraan bermotor yaitu kampas rem yang artinya dapat memperlambat atau menghentikan suatu kendaraan yang melaju. Jenis – jenis kampas rem ialah :

1. Kampas rem organik menggunakan bahan-bahan organik seperti serbuk kayu, asbestos, keramik, dan bahan lunak lainnya. Kampas rem jenis ini lebih lembut, sehingga lebih cepat habis dan mudah terpengaruh suhu panas tinggi, mengakibatkan daya pengereman berkurang dan kemungkinan terjadinya kegagalan. Namun, kampas rem organik ini berkinerja baik dalam kondisi berkendara di kota atau penggunaan sehari-hari tanpa mengemudi secara agresif.
2. Kampas rem sinter atau full metal terbuat dari kombinasi serbuk logam, sehingga sangat efisien dalam pengereman dan mampu menahan suhu tinggi saat pengereman kendaraan. Namun, kelemahan kampas rem ini adalah dapat merusak cakram mobil, sehingga disarankan untuk menggunakan cakram yang sangat keras jika menggunakan kampas rem jenis ini.
3. Kampas rem kramik, kampas keramik merupakan sebuah komponen rem yang terbuat dari campuran bahan keramik seperti karbon dan silikon, yang menunjukkan daya tahan yang lebih unggul dibandingkan dengan kedua tipe kampas yang telah disebutkan sebelumnya. Keunggulan dari kampas rem ini terletak pada kemampuannya untuk menangani suhu tinggi dengan baik serta efektif dalam melakukan pengereman pada kendaraan bermotor. Kampas rem jenis ini sangat cocok digunakan pada kendaraan balap dan memiliki ketahanan terhadap kerusakan pada cakram (Hudalandy Wicak A. 2019).



Gambar 2.4 Jenis – Jenis Bahan Kampas Rem
(Hudalandy, 2019)

2.5 Komposit

2.5.1 Pengertian Komposit

Komposit mengacu pada bahan yang terbentuk melalui penggabungan dua atau lebih jenis material, menghasilkan sifat mekanik yang lebih kuat daripada bahan dasarnya. Komposit terdiri dari dua elemen utama, yaitu matriks yang bertugas sebagai pengikat atau pelindung, dan pengisi yang berfungsi sebagai materi tambahan. Keuntungan bahan komposit meliputi bobot yang rendah, kekuatan yang lebih tinggi, tahan terhadap korosi, dan biaya perakitan yang lebih ekonomis. Dua unsur kunci dalam pembentukan komposit adalah pengisi (filler) berupa serat sebagai struktur dasar, dan matriks yang berfungsi sebagai pendukung tambahan. Kedua komponen ini, pengisi (filler) dan matriks, memiliki peran penting dalam struktur bahan komposit. (Reisya, 2018).

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yakni :

- a. Material penguat, penguat (reinforcement) berperan sebagai penanggung beban utama dalam komposit. Material penguat memiliki sifat yang kurang mudah lentur (ductile) namun lebih ringan dan memiliki kekuatan yang tinggi.
- b. Material pengikat, juga dikenal sebagai matriks. Matriks memiliki fungsi yang mencakup penyebaran tegangan secara merata ke serat, perlindungan serat dari gesekan mekanik, mempertahankan posisi serat, dan menjaga stabilitas setelah proses manufaktur.

Pada penelitian lain, dengan meningkatkan proses *sintering* terhadap kampas rem gesek dapat mempengaruhi tingkat keausan pada kampas rem. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu *sintering*, maka tingkat keausan kampas rem cenderung mengalami peningkatan. Selain itu, juga diamati bahwa peningkatan suhu *sintering* memiliki pengaruh terhadap karakteristik kekerasan kampas rem. Secara spesifik, ketika suhu *sintering* ditingkatkan, terjadi penurunan nilai kekerasannya (Imam, Pramuko I.P, 2009).

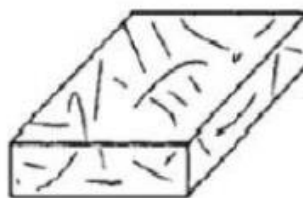
2.5.2 Penguat (Reinforcement)

Salah satu komponen utama dalam komposit yang bertanggung jawab atas menanggung beban yang diterima oleh material komposit adalah penguat (reinforcement). Kekuatan komposit, yang ditentukan oleh penguat yang digunakan, sangat tergantung pada karakteristik penguatan tersebut. Penguat ini sering kali memiliki sifat yang tahan terhadap tekanan dan kaku. Partikel berbagai jenis, serat alam, serat karbon, serat kaca, dan bahan keramik, adalah contoh jenis penguat yang umumnya digunakan dalam pembuatan komposit.

Jenis - Jenis Komposit Berdasarkan Penguat yang digunakan, yaitu :

1. Komposit serat (Fibrous Composites)

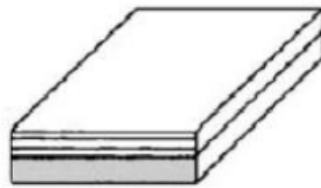
Komposit yang terdiri dari satu lapisan atau satu lamina dengan penguat serat disebut sebagai komposit lapis tunggal. Sebagai contoh, kayu merupakan suatu jenis komposit alami yang terdiri dari serat hemiselulosa di dalam matriks lignin. Penguatan matriks dalam komposit ini bisa menggunakan serat yang berupa serat pendek, serat panjang, atau serat kontinu.



Gambar 2.5 Komposit Serat
(Reisya, 2018)

2. Komposit lapis (Laminates Composites)

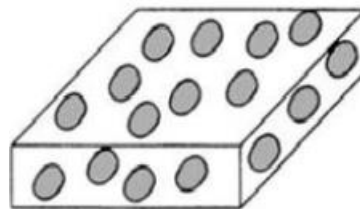
Komposit berstruktur berlapis, minimal terdiri dari dua lapisan yang digabungkan menjadi kesatuan, dengan setiap lapisan memiliki sifat karakteristiknya sendiri. Setiap lapisan terdiri dari serat yang bervariasi dalam arahnya. Contohnya adalah produk kayu lapis (plywood), yang terdiri dari lapisan-lapisan kayu yang diapit oleh lapisan lem, dengan lapisan serat kayu yang saling tegak lurus terhadap lapisan yang berdekatan.



Gambar 2.6 Komposit Lapis
(Reisya, 2018)

3. Komposit partikel (Particulate Composites)

Komposit mengandalkan partikel atau serbuk sebagai penguat, yang di distribusikan secara homogen di dalam matriksnya. Partikel-partikel ini memiliki peran dalam meratakan beban di seluruh material dan mencegah terjadinya deformasi plastis. Partikel ini bisa berupa unsur logam atau non-logam.



Gambar 2.7 Komposit Partikel
(Reisya, 2018)

2.5.3 Matriks

Resin umumnya merupakan bahan yang digunakan sebagai penguatan serat dalam komposit. Resin memiliki karakteristik cair dengan viskositas rendah, yang

akan mengeras setelah melalui proses polymerisasi. Matriks dalam komposit memiliki peran sebagai pengikat penguat, menjadi elemen pendukung yang menahan beban, sehingga kekuatan keseluruhan bahan komposit sangat dipengaruhi oleh kekuatan matrik penyusunnya. Fungsi tambahan dari matriks meliputi :

1. Berperan sebagai penopang beban.
2. Menambahkan karakteristik tambahan dalam struktur komposit.
3. Menyediakan isolasi listrik dalam komposit, walaupun hal ini bervariasi tergantung pada jenis matrik yang digunakan.

Fungsi matriks adalah sebagai pengikat serat, pelindung, transfer beban, dan pendukung serat (Reisya, 2018).

2.6 Limbah Batubara

Batubara dapat didefinisikan sebagai batuan sedimen yang terbentuk dari proses dekomposisi sisa-sisa tumbuhan selama periode sekitar 300 juta tahun. Pembakaran dari unit pembangkit uap (boiler) pada batubara menghasilkan abu yang dimana mengakibatkan polusi udara, abu yang dihasilkan dalam proses pembakaran batubara menghasilkan dua macam jenis abu yakni, fly ash (abu terbang) dan *Bottom ash* (abu dasar) yang dimana masing – masing komposisinya 80% - 85% fly ash dan 15% dan 20% *Bottom ash* (JCOAL, 2008). Abu batubara bersifat *pozzolon*, yaitu bahan dengan kandungan senyawa silika dan aluminium (Kevin, 2017). Perbedaan dari abu terbang dan abu dasar juga dibedakan berdasarkan ukuran partikel serta berat jenisnya. Abu dasar memiliki ukuran partikel yang lebih kasar yaitu 20 – 50 mesh serta abu layang memiliki ukuran 100 – 200 mesh (Wahyuni, 2010).

2.6.1 Fly Ash

Abu terbang, yang juga dikenal sebagai fly ash, merupakan hasil sisa dari pembakaran batubara yang berbentuk butiran halus dan terbang ke udara selama proses pembakaran batubara. Komponen utama dari abu terbang terdiri dari silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), serta kandungan lain seperti karbon, kalsium, belerang, dan magnesium (ASTMC618, 2016).

2.6.2 *Bottom ash*

Bottom ash atau abu dasar merupakan sisa hasil pembakaran batubara yang memiliki ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan dengan abu terbang. Pada proses terbentuknya abu dasar dihasilkan ketika pembakaran (boiler) batubara, abu dasar akan jatuh ke dasar dan tertampung pada penampung debu (ash hopper). (Singh & Siddique, 2015). Dengan penjelasan lain, *bottom ash* merupakan hasil sisa dari pembakaran batubara di pabrik pembangkit tenaga, memiliki ukuran partikel yang lebih besar dan berat dibandingkan *fly ash*. Karena karakteristik tersebut, *bottom ash* cenderung mengendap ke bagian dasar tungku pembakaran (boiler) dan terakumulasi dalam penampung debu (ash hopper) (Sholahuddin, 2017). Secara umum, *bottom ash* terdiri dari beberapa bahan anorganik, yaitu silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO) (Kurama dan Kaya, 2007). *Bottom ash* juga memiliki kandungan karbon cukup tinggi, kandungan karbon yang cukup tinggi dalam *bottom ash* disebabkan oleh proses pembakaran batubara yang tidak sepenuhnya efisien, menyebabkan sisa-sisa batubara yang tidak terbakar terdapat dalam abu tersebut (Ratih, 2012).

Kandungan karbon dalam *bottom ash* yang digunakan dalam pembuatan komposit kampas rem memberikan manfaat penting, termasuk meningkatkan friksi, mengendalikan panas, meningkatkan kekuatan mekanik, dan ketahanan aus. Karbon juga membantu dalam stabilitas dimensi dan pengurangan debu rem.

Tabel 2.1 Komposisi *Bottom ash*
(Kurniasari, 2017)

Komponen	Bituminous (%)	Sub-bituminous (%)	Lignit (%)
SiO_2	53,6	45,4	70
Al_2O_3	28,3	19,3	15,9
Fe_2O_3	5,8	9,7	2,0
CaO	0,4	15,3	6,0
MgO	4,2	3,1	1,9
Na_2O	1,0	1,0	0,6
K_2O	0,3	-	0,1

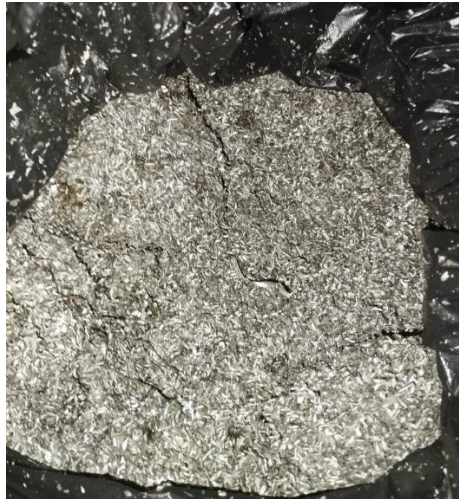
Bottom ash memiliki dominan kandungan silika dan alumina lebih banyak dari pada fly ash yang dimana hanya 20 – 50% silika dan 5 – 20% alumina. Limbah batubara *Bottom ash* lebih susah didapatkan dari hasil pembakaran batubara di PLTU dibandingkan dengan fly ash dengan perbandingan hasil limbah yang didapatkan rata – rata 80% 20% (Kurniasari, 2017).



Gambar 2.8 *Bottom ash* Batubara

2.7 Limbah Hasil Pembubutan (*gram*)

Limbah hasil dari pembubutan atau disebut *gram* merupakan hasil dari pengikisan mesin yang diperbaiki, menghasilkan serpihan logam atau besi yang halus. Bubut besi yang didapat dari proses pembuatan benda uji yang diproses dengan mesin bubut manual (*Machine Turning*) dan mesin bubut otomatis (*CNC*). Proses pembubutan tersebut menghasilkan serpihan besi yang berbentuk spiral dengan ukuran panjang dan tebal yang berbeda. Serat tersebut termasuk limbah karena tidak memiliki fungsi. Pengelolaan limbah bubut harus segera dimanfaatkan karena dapat memiliki dampak buruk terhadap lingkungan sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk pemanfaatan limbah bubut sebagai bahan campuran penguat dari pembuatan kampas rem.



Gambar 2.9 Limbah Hasil Pembubutan

2.8 Resin *Epoxy*

Resin *Epoxy* masuk ke jenis Polimer thermosetting yaitu jenis polimer yang akan menjadi keras secara permanen selama pembentukannya dan tidak melunak ketika dipanaskan. Setelah material thermoset terbentuk maka tidak akan berubah oleh panas dan tidak juga oleh zat kimia. Polimer thermoset memiliki sifat mekanik yang bergantung dengan satuan molekul penyusun jaringan. Resin *Epoxy* merupakan salah satu resin yang sering digunakan sebagai matriks komposit. Resin *Epoxy* memiliki banyak keunggulan jika dibandingkan dengan resin yang lain, salah satunya yaitu resin polyester. Resin *Epoxy* memiliki massa jenis lebih rendah $1,14 \text{ g/cm}^3$, tahan panas, modulus elastisitas $2,4 \text{ GPa}$ (Callister, W. D. 2006).

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Resin *Epoxy* AH 110
(Callister, W. D. 2006)

Sifat	Metric
Massa Jenis	1.14 g/cm^3
Modulus Elastisitas	2.4 GPa

2.9 Proses Sintering

Komposit memiliki berbagai karakteristik, salah satunya adalah memiliki struktur polikristal yang terbentuk melalui perlakuan panas atau proses *sintering*. Proses *sintering* ini melibatkan pemanasan pada suhu yang sedikit di bawah titik lelehnya (melting point). Selama proses *sintering*, gaya tarik-menarik antara molekul atau atom terjadi, menghasilkan struktur padatan yang padu pada komposit yang dihasilkan. Beberapa faktor yang bisa mempercepat proses *sintering* termasuk densitas awal, ukuran partikel, suhu *sintering*, dan durasi *sintering* (Barasa, 2014).

Parameter dalam proses *sintering* meliputi temperatur (T), durasi, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan, atmosfer *sintering*, dan jenis material yang digunakan. Berdasarkan pola ikatan yang muncul selama proses kompaksi, terdapat fenomena potensial yang disebut penyusutan atau shrinkage, dimana saat proses *sintering* berlangsung, gas (pelumas) yang ada dalam porositas dapat keluar melalui degassing (pelepasan gas selama *sintering*). Apabila suhu sinter terus meningkat, akan terjadi difusi permukaan antara partikel matriks dan pengisi, yang akhirnya menghasilkan pembentukan liquid bridge atau necking (terbentuknya fase campuran antara matriks dan pengisi). Liquid bridge ini akan mengisi porositas, mengakibatkan pengurangan porositas baik dalam jumlah maupun ukurannya (Imroatul, 2015).

2.10 Pengujian Sifat Mekanik

2.10.1 Uji Keausan

Keausan adalah pemindahan material dari permukaan karena adanya pergerakan relatif dengan permukaan lainnya atau berupa kehilangan material secara bertahap. Keausan terjadi ketika permukaan padatan mengalami kerusakan atau mengalami pengurangan material secara progresif akibat gesekan dengan permukaan lainnya. Ini bukan merupakan karakteristik bawaan dari suatu material, tetapi adalah respons material terhadap interaksi dengan lingkungan eksternal, terutama ketika ada kontak antara permukaan padatan. Fenomena keausan adalah hal yang umum terjadi pada semua jenis material yang mengalami gesekan dengan material lain (Maulana, 2012).

Pengujian keausan menggunakan metode Ogoshi dengan menggunakan mesin uji keausan tipe OAT-U (Ogoshi high speed universal wear testing machine). Proses beban gesek akan menyebabkan kontak berulang-ulang antara permukaan yang mengakibatkan pengambilan sebagian material dari permukaan benda uji. Besarnya jejak keausan pada material tersebut digunakan untuk menentukan tingkat keausan. Semakin besar dan dalam jejak keausan, maka semakin banyak volume material yang terlepas dari benda uji (Hadi, 2017). Alat yang digunakan dalam uji keausan yaitu menggunakan *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine*, dengan rumus keausan sebagai berikut:

$$W_s : \frac{B \cdot b^3}{8 \cdot r \cdot P_o \cdot l_o} \quad (2.1)$$

Dengan menggunakan satuan yang mengacu pada luas permukaan spesifik objek dalam milimeter persegi per kilogram massa.

$$\frac{mm \cdot mm^3}{mm \cdot kg \cdot mm} : mm^2/kg$$

Keterangan :

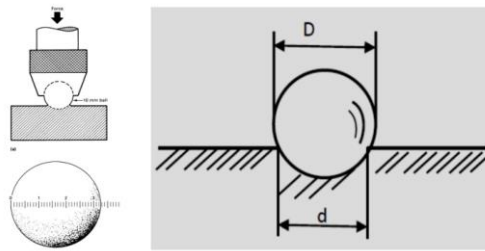
- W_s : Nilai keausan spesifik (mm^2/kg)
- B : Lebar piringan pengaus (mm)
- b_o : Lebar keausan pada benda uji (mm)
- r : Jari – jari piringan pengaus (mm)
- P_o : Gaya tekan pada proses keausan berlangsung (Kg)
- l_o : Jarak tempuh pada proses pengausan (mm)



Gambar 2.10 *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine (Type OAT-U)*

2.10.2 Uji Kekerasan

Kekerasan atau *hardness* diartikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap deformasi plastis. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus dan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan. Pada penelitian ini digunakan uji kekerasan penekanan dengan metode Brinell. Pengujian kekerasan dengan metode Brinell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (indenter) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (speciment).



Gambar 2.11 Indentor Uji Kekerasan Brinell
(Howard, 2000)

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} \quad (2.2)$$



Gambar 2.12 *Hardness Tester Machine* jenis Albert Gnehm

2.11 Kajian Pustaka

Penelitian tentang limbah batubara pernah dilakukan oleh Hadi & Zamheri (2018) dengan judul Pengaruh Fraksi Volume Penguat Abu Terbang, Serbuk Besi dan Matrik Resin Terhadap Keausan dan Kekerasan Untuk Bahan Kampas Rem. Dalam penelitiannya menggunakan variasi bahan fly ash 40% 30% dan 20%, serbuk besi 10% 20% 30%, serta resin polyster menggunakan komposisi tetap pada 50%. Penelitian bahan uji tersebut mendapatkan nilai kekerasan sebesar 24,5 BHN dan nilai keausan sebesar $1,1321E-06$ mm²/kg dengan perbandingan fraksi volume 20% fly ash, 50% resin polyster, dan 30% serbuk besi.

Dalam penelitian yang dilakukan Arianto, Bagus Novan (2019) dengan judul Pengaruh Variasi Material Penguat Abu Layang Batubara dan Serbuk Besi Terhadap Uji Mekanik Kampas Rem. Dalam penelitiannya menggunakan variasi komposisi yang berbeda dari penelitian sebelumnya yaitu dengan variasi bahan 45%, 40%, 35% fly ash, 5%, 10%, 15% serbuk besi, dan 50% resin *Epoxy* dengan komposisi tetap. Penelitian tersebut menggunakan fraksi volume 50% resin, 35% fly ash, dan 15% serbuk besi menghasilkan nilai paling maksimal dengan uji kekerasan Brinell sebesar 10,6 BHN, uji keausan dengan metode ogoshi sebesar 96×10^{-7} mm²/kg, dan pengujian lentur memperoleh hasil sebesar 36,79 Mpa. Berdasarkan penelitian terhadap material matriks resin *Epoxy* diperkuat dengan fly ash dan serbuk besi dapat disimpulkan bahwa banyaknya komposisi fly ash dan serbuk besi yang di campurkan maka sifat mekanik akan mendapatkan nilai yang semakin baik.

Penelitian lain yang dilakukan Pratama (2017) tentang kampas rem dengan menggunakan variasi komposisi yaitu 40% fly ash dan 60% resin menghasilkan tingkat kekerasan terbaik sebesar 94 BHN, uji keausan dengan komposisi 40% fly ash dan 60% resin menghasilkan nilai 0,002 mm²/kg, sedangkan tingkat kelenturan pada komposisi 50% resin dan 50% fly ash memiliki nilai sebesar 52,79 N/mm.

Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh Hadi, Alian, Ramadhan, dan Hardiyanto (2021) dengan judul "Pemanfaatan Abu Terbang dalam Pembuatan Kampas Rem Otomotif: Analisis Keausan dan Densitas," dilakukan variasi komposisi. Variasi tersebut meliputi campuran sebesar 45%, 50%, 55%, 60%, dan

65% abu terbang, dan 35%, 30%, 25%, 20%, dan 15% fiberglass, dengan kandungan resin fenolik tetap 20%. Hasil uji keausan menghasilkan nilai sebesar $1,705 \times 10^{-8}$ mm²/kg untuk komposisi 50% abu terbang, 30% fiberglass, dan 20% resin. Selain itu, nilai porositas yang diperoleh adalah 2,1913 g/cm³ untuk komposisi 65% abu terbang, 15% fiberglass, dan 20% resin fenolik.

Dalam studi yang dilakukan oleh Hudalandy Wicak A. (2019) dengan judul "Pengaruh Beban dan Temperatur Pengereman Terhadap Efektivitas Keausan pada Bidang Cakram Rem Berbahan Komposit Paduan Aluminium dan Abu Dasar Batubara," disimpulkan bahwa nilai keausan pada kampas rem komposit lebih tinggi daripada kampas rem asli dan kampas rem imitasi. Hal ini disebabkan oleh kandungan abu dasar batubara pada kampas rem komposit, namun tanpa kandungan resin dan asbestos. Saran untuk penelitian berikutnya adalah untuk mengurangi ukuran partikel saat proses penyaringan guna mendapatkan nilai keausan yang lebih rendah. Selain itu, disarankan juga untuk meningkatkan kandungan *bottom ash* batubara guna meningkatkan kekuatan material dan daya tahan terhadap abrasi.