

**PENGARUH BARIUM SULFAT (BASO<sub>4</sub>) TERHADAP KETAHANAN  
AUS KOMPOSIT ABU TERBANG BATUBARA  
(*FLY ASH*) / *PHENOLIC***

**(Skripsi)**

Oleh

***Teten Beliantara***  
**NPM 1515021043**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## ABSTRAK

### PENGARUH BARIUM SULFAT ( $BaSO_4$ ) TERHADAP KETAHANAN AUS KOMPOSIT ABU TERBANG BATUBARA ( *FLY ASH* ) / *PHENOLIC*

Oleh :

**TETEN BELIANTARA**

Barium sulfat ( $BaSO_4$ ) adalah bahan pengisi (filler) yang mempunyai densitas tinggi, mampu meningkatkan kerapatan massa serta ketahanan pada temperatur tinggi dan juga dapat mengurangi tingkat keausan. Tujuan penelitian ini mengetahui pengaruh barium sulfat terhadap ketahanan aus komposit fly ash / phenolic dan mengetahui morfologi dan mekanisme kegagalan yang terjadi pada komposit dengan foto SEM.

Komposit yang digunakan adalah jenis partikel dengan perbandingan phenolic resin 65% 60% 55% sebagai matriks fly ash 25% sebagai penguat dan  $BaSO_4$  5% 10% 15% sebagai bahan pengisi. Pembuatan spesimen dilakukan dengan mencampur bahan komposit selama 20 menit lalu mencetak sambil dipanaskan pada temperatur  $250^\circ C$  selama 40 menit, selanjutnya dipanaskan menggunakan furnace selama 4 jam dengan temperatur  $150^\circ C$ . Pengujian spesimen menggunakan pengujian ketahanan aus ASTM G99 dan pengamatan patahan dengan foto SEM (scanning electron microscope)

Hasil pengujian ketahanan aus variasi barium sulfat ( $BaSO_4$ ) sebesar 5% mendapatkan hasil rata-rata spesifik abrasi sebesar  $14.6216 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , 10% barium sulfat  $12.2935 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , 15% barium sulfat  $8.03973 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Kandungan 15% barium sulfat merupakan komposisi paling optimal karena nilai spesifik abrasi paling rendah dan pendistribusian partikel merata sehingga mampu menahan laju keausan dengan baik. Pengamatan foto SEM spesimen dengan nilai keausan tertinggi pada variasi barium sulfat 5% karena persentase barium sulfat sebagai pengisi yang sedikit sehingga phenolic dan fly ash tidak mengikat dengan sempurna ketika komposit mengalami beban gesekan partikel dari komposit lebih mudah terlepas. Pengamatan foto SEM spesimen dengan nilai keausan terendah pada kandungan 15% barium sulfat, dengan ini menunjukkan bahwa variasi komposisi dari barium sulfat dapat mempengaruhi serta mengurangi nilai spesifik abrasinya sehingga ketahanan ausnya menjadi lebih meningkat.

**Kata Kunci :** Komposit Partikel, *Phenolic*, Barium Sulfat ( $BaSO_4$ ), Abu terbang, spesifik abrasi, Kampas Rem

## **ABSTRAC**

### **EFFECT OF BARIUM SULFATE (BASO4) ON THE WEAR RESISTANCE OF COAL FLY ASH / PHENOLIC COMPOSITES**

**By :**

**TETEN BELIANTARA**

Barium sulfate ( $\text{BaSO}_4$ ) is a filler that has a high density, is able to increase mass density and resistance at high temperatures and can also reduce wear rates. The purpose of this study was to determine the effect of barium sulfate on the wear resistance of fly ash/phenolic composites and to determine the morphology and failure mechanism of composites using SEM photos.

The composite used is a type of particle with a ratio of 65% 60% 55% phenolic resin as a 25% fly ash matrix as a reinforcement and  $\text{BaSO}_4$  5% 10% 15% as a filler. temperature of 250oC for 40 minutes, then heated using a furnace for 4 hours at a temperature of 150oC. Testing the specimen using the ASTM G99 wear resistance test and observing the fracture with SEM (scanning electron microscope) photos.

The results of the wear resistance test for variations in barium sulfate ( $\text{BaSO}_4$ ) of 5% get an average specific abrasion result of  $14.6216 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , 10 % barium sulfate  $12.2935 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , 15% barium sulfate  $803973 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . The content of 15% barium sulfate is the most optimal composition because of the lowest specific value of abrasion and even distribution of particles so that it can withstand the wear rate well. Observation of SEM photos of specimens with the highest wear value at 5% barium sulfate variation because the percentage of barium sulfate as filler is small so that phenolic and fly ash do not bind perfectly when the composite is subjected to frictional loads, particles from the composite are more easily separated. Observation of the SEM photo of the specimen with the lowest wear value at 15% barium sulfate content, hereby shows that variations in the composition of barium sulfate can affect and reduce the specific value of abrasion so that the wear resistance is increased.

***Keywords: Particle Composite, Phenolic, Barium Sulfate ( $\text{BaSO}_4$ ), Flyash, Abrasion specifications, Brake Pads***

**PENGARUH BARIUM SULFAT (BASO<sub>4</sub>) TERHADAP KETAHANAN  
AUS KOMPOSIT ABU TERBANG BATUBARA  
(FLY ASH) / PHENOLIC**

Oleh

**Teten Beliantara**

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## Riwayat Hidup



Penulis dilahirkan pada tanggal 26 Mei 1998 di Tanjung Rambang sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dilahirkan dari pasangan Bapak Fran Supriadi Dan Ibu Nofriyeni. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Sekolah Dasar Negeri 1 Labuhan Ratu Kota Bandar Lampung pada tahun 2009 , Sekolah Menengah Pertama Gajah Mada 2012 Kota Bandar Lampung, dan Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 2 Kota Bandar Lampung pada tahun 2015 Setelah itu penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2015. Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai kepala divisi kreativitas untuk periode 2017-2018 selanjutnya penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. Bukit Asam Tanjung Enim. Sejak tahun 2019 bulan Januari, penulis mulai melakukan penelitian tugas akhir (skripsi) dengan judul **“Pengaruh barium sulfat (  $BaSO_4$  ) terhadap ketahanan aus komposit abu terbang batu bara ( *flyash* ) phenolic”** Penulis mengerjakan skripsi dibawah bimbingan Ibu Dr. Eng Shirley Savetlana, S.T., M.Met. sebagai pembimbing utama dan Bapak Prof. Dr. Sugiyanto, M.T. sebagai pembimbing kedua, serta Bapak Zulhanif, S.T., M.T. sebagai penguji utama.

*"Jika seseorang bepergian dengan tujuan untuk ilmu, maka Allah ﷺ menjadikan perjalanannya bagaikan menuju surga"*

*(Nabi Muhammad ﷺ)*

*"Pisau yang tumpul jika di asa terus menerus akan tajam juga"*

*(Jeten Beliantara)*

*"Tiadanya keyakinanlah yang membuat orang takut menghadapi tantangan, dan saya percaya pada diri saya sendiri"*

*(Muhammad Ali)*

*"Manusia tidak merancang untuk gagal, mereka gagal untuk merancang"*

*(William J. Siegel)*

*"Kebanggaan kita yang terbesar adalah bukan tidak pernah gagal, tetapi bangkit kembali setiap kali kita jatuh"*

*(Confusius)*

*"Jangan takut untuk bermimpi. Karena mimpi adalah tempat menanam benih harapan dan memetakan cita-cita"*

*(Monkey D. Luffy)*

**Kupersembahkan karya yang sederhana ini untuk orang yang sangat kusayangi dan kucintai**

**Kedua orang tuaku**

**Yang memberikan kasih sayang yang tak terhingga, dan tak lekang oleh waktu.**

**semoga kalian selalu di berikan kesehatan**

## SANWACANA

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb.*

*Alhamdulillah* *ahirabbil 'alamiin*, puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Karena-Nya penulis diberi banyak nikmat dan rahmat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Shalawat serta salam juga penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang dinantikan syafa'atnya di yaumul akhir nanti.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang selama ini telah membantu, mendukung, dan membimbing hingga selesainya skripsi ini, Oleh karena itu, sebagai wujud rasa hormat, penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak sebagai berikut :

1. Kedua orang tuaku yang sangat kucintai, Bapak Fran Supriadi dan Ibu Nofriyeni, yang senantiasa memberikan kasih sayang dan dukungan yang tak terbatas dan takkan terbalaskan, dan adikku tercinta Dwi Maryendi Pranata yang selalu menjadi motivasi bagiku.
2. Kekasihku Rizky Chantia yang tiada hentinya memberikan dukungan serta semangat dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T sebagai Kajur Teknik Mesin Unila.

5. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met. selaku Pembimbing I, yang telah banyak memberikan banyak pelajaran baru dan bimbingan dalam kelancaran skripsi ini.
6. Bapak Prof. Dr. Sugiyanto, M.T., selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu berdiskusi untuk kelancaran skripsi ini
7. Bapak Zulhanif, S.T., M.T., selaku Penguji, yang telah memberikan koreksi dan masukan untuk kelayakan skripsi ini.
8. Bapak Dr. Ir Yanuar Burhanuddin, M.T., selaku Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan masukan selama menempuh perkuliahan.
9. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin atas ilmu yang telah diberikan selama penulis melaksanakan studi, baik materi akademik dan motivasi untuk masa yang akan datang. Tak lupa juga terima kasih kepada staff dan karyawan Gedung H Teknik Mesin Universitas Lampung.
10. Orang-orang terdekatku, Muhammad Azka, M. Irvan Ramadhan, Muhammad Dhuha Syahbana, Ari yansah, Agung Barlianto, Fery Kurnia, Ari Gunawan Sianturi  
Tommy Rizky Putra Perdana, M. Yakuti Arsi, Rio, M. Ilham Saputra, M. Hawari Perdana
11. Kepada teman-teman seperjuangan **“TEKNIK MESIN 2015”** yang menjadi teman penulis dari awal mengenyam pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung selama ini. **“SOLIDARITY FOREVER”**
12. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung.
13. Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan, yang telah ikut serta membantu dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan yang terdapat pada skripsi ini. Karenanya, penulis mengharapkan kritikan dan masukan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis juga mengharapkan skripsi yang sederhana ini dapat memberikan inspirasi dan berguna bagi kalangan civitas akademik maupun masyarakat Indonesia. Aamiiin.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Bandar Lampung, 14 Oktober 2021  
Penulis,

**Teten Beliantara**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PERNYATAAN PENULIS</b> .....	iii
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	iv
<b>MOTTO</b> .....	v
<b>SANWACANA</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	6
1.3 Manfaat Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Sistematika Penulisan.....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Komposit.....	10
2.2 Abu Terbang Flyash Batubara.....	12
2.3 Bahan Bahan Penyusun Komposit.....	14
2.4 <i>Kampas Rem</i> .....	18
2.5 Komposisi Kampas Rem.....	18
2.6 Material Komposit Untuk Kampas Rem.....	20
2.7 Keausan.....	22
2.8 Jenis – jenis keausan.....	23

2.9 Kegagalan Komposit.....	25
2.10 Pengamatan SEM ( <i>Scanning electron microscopy</i> ).....	25

### **BAB III. METODELOGI PENELITIAN**

3.1 Tempat Penelitian.....	28
3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan.....	28
3.3 Prosedur Pembuatan dan Pengujian Spesimen Uji Komposit.....	36
3.4 Alur Proses Penelitian .....	43

### **BAB IV. HASIL & PEMBAHASAN**

4.1 Data hasil pengujian dan pembahasan.....	44
4.2 Hasil uji SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ).....	47

### **BAB V. SIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Simpulan.....	51
5.2 Saran.....	52

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Proses terjadinya keausan adhesive .....	23
Gambar 2.2 Proses terjadinya keausan abrasive.....	24
Gambar 2.3 Perbandingan hasil gambar (a) mikroskop cahaya.....	26
Gambar 3.1 Saringan ayakan.....	27
Gambar 3.2. Cetakan spesimen uji.....	28
Gambar 3.3. Timbangan digital.....	28
Gambar 3.4. Mixer.....	29
Gambar 3.5. Dongkrak hidrolik.....	29
Gambar 3.6. Furnace.....	30
Gambar 3.7. Ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U.....	31
Gambar 3.8. Abu terbang batubara... ..	32
Gambar 3.9. Phenolic.....	32
Gambar 3.10. Grafit.....	33
Gambar 3.11. Barium sulfat.....	34
Gambar 3.12. Ilustrasi pengujian keausan.....	39
Gambar 3.13. Diagram alir proses penelitian.....	41
Gambar 4.1 menunjukkan grafik nilai spesifik abrasi rata-rata spesimen komposit <i>fly ash / phenolic</i> .....	44

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Unsur senyawa kimia dan sifat fisika pada <i>fly ash</i> .....	15
Tabel 2.2 Analisis kimia <i>fly ash</i> Tarahan Provinsi Lampung.....	16
Tabel 3.1 Spesifikasi dongkrak hidrolik.....	30
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>furnace</i> .....	30
Tabel 3.3 Spesifikasi mesin uji keausan <i>ogoshi</i> .....	31
Tabel 3.4 Spesifikasi abu terbang batubara.....	32
Tabel 3.5 Spesifikasi <i>phenolic</i> .....	33
Tabel 3.6 Spesifikasi grafit.....	33
Tabel 3.7 Spesifikasi barium sulfat.....	34
Tabel 3.8 Komposisi bahan penyusun komposit.....	36
Tabel 3.9 Jumlah spesimen ketahanan aus.....	37
Tabel 3.10 Format hasil uji keausan.....	39
Tabel 4.1. Komposisi dan spesifik abrasi permukaan atas spesimen.....	42
Tabel 4.2. Hasil foto SEM pada spesimen KBS5% (a). pembesaran 50x (b). Pembesaran 1000x (c). Pembesaran 5000x (d). Pembesaran 12000x dan spesimen KBS15% (e). Pembesaran 50x (f). Pembesaran 1000x (g). Pembesaran 5000x. (h) pembesaran 12000x.....	46

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kampas rem merupakan salah satu komponen pada kendaraan bermotor yang fungsinya untuk memperlambat kecepatan kendaraan bermotor. Pada umumnya bahan komposit kampas rem memiliki tiga bahan penyusun yang dimana terdiri dari bahan pengikat, bahan penyusun dan bahan pengisi. Bahan pengikat terdiri dari berbagai jenis resin, phenolic, epoxi, polyester, silicone dan rubber yang dapat membentuk matriks. Bahan penguat berupa fiber. Secara komprehensif, untaian yang digunakan untuk membuat bahan kontak komposit pelapis rem dapat dipesan menjadi filamen asbes dan non- asbes.

Penelitian di bidang medis menyatakan bahwa serat asbes dapat menyebabkan kanker paru-paru dan gangguan saluran pernapasan pada manusia. Pada tahun 1986, EPA (Environmental Protection Agency) atau Badan Perlindungan Lingkungan di Amerika mengusulkan larangan penggunaan serat asbes pada kampas rem kendaraan bermotor (Blau, 2001). Serat nonn asbes biasanya terdiri berupa serat buatan dan juga serat dari alam. Serat buatan seperti nilon, Cu-Zn, Al, karbon, wol batu dan serat kaca. Serat alam yang sering digunakan sebagai penguat adalah serat yang terdapat di alam dan bersifat alamii, contohnya ada, serat rami, serat cantulaa, serat bambu seratt kenaff,

serrat serabuut klapa, serrat tngkol jaguung dan ada lagi banyak jenis lain (Liu dkk, 2006).

Filer atau biasa di sebut bahan pengisi banyak digunakan untuk mengurangi berat, mengurangi biaya fabrikasi, dan untuk membangun kemampuan beradaptasi rencana komposit. Untuk bahan filler yang dipakai dapat berupa logam, amalgam, produksi gerabah, bahan alam dan bahan anorganik. Pengisi organik seperti CNSL (cairan kulit kacang mete) debu dan remah karet. Bahan pengisi anorganik seperti vermikulit,  $BaSO_4$ ,  $CaCO_3$ ,  $Ca(OH)_2$  dan  $MgO$ . Kalsium karbonat dan juga barium sulfat biasanya banyak digunakan untuk sebagai filler atau isian komposit kampas rem (Pilato, 2010).

Fly ash ini selain memenuhi kriteria sebagai material yang memiliki sifat pozzolan, juga memiliki sifat fisik yang baik, seperti memiliki porositas yang rendah dan partikel yang halus. partikel fly ash memiliki ukuran hasil dari terjadi proses pembakaran batubara yang dimana ukuranya 0,075 mm. Kepadatan fly ash berkisar antara 2,1 hingga 3,0  $gr/cm^3$ , luas spesifik 170 hingga 1000  $m^2/kg$ , rata-rata ukuran partikel fly ash batubara 0,01 mm – 0,015 mm, luas permukaan 1-2  $m^2/g$ , densitas (berat jenis) adalah 2,2 – 2,4  $g/cm^3$  dan bentuk partikel sebagian besar bulat, sehingga workability lebih baik (Pratama, 2011). Beberapa waktu lalu telah dilakukan penelitian di Universitas Hasanuddin oleh Muhammad Syahid (2011), mengenai analisis sifat mekanik material komposit kampas rem dengan perkuatan fly ash batubara. Kesimpulan dari penelitian yang mana di dapatkan bahwa sifat mekanik komposit kampas rem yang memiliki komposisi variasi limbah batubara dan resin terhadap tingkat

kekerasannya. yang paling tinggi pada pembuatan 60% tar dan 40% serpihan lalat, khususnya 94 HRB, tingkat keausan paling sedikit pada potongan 60% pitch dan 40% serpihan lalat adalah  $2.02E-07$  gr/mm<sup>2</sup>.detik sedangkan yang terbaik tingkat kelenturan berada pada susunan half gum dan harga fly sh 50% adalah 52,79 N/mm<sup>2</sup> (Shahid, 2011).

Dalam eksplorasi Nafsan Upara (2019), sehubungan dengan pemeriksaan dekat sifat item kampas rem lingkaran antara penjualan pertama dan kedua. cenderung beralasan bahwa bantalan rem pertama memiliki tingkat kekerasan superior 65.567 HVN sedangkan bantalan rem pasca-retail memiliki kekerasan normal 13.983 HVN.

Hal ini karena pengaruh struktur komponen karbon lebih dominan, sehingga kampas rem pertama memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi. Sementara itu, bantalan rem pengganti reseller memiliki kekerasan yang tak berdaya. (Nafsan Upara, 2019). Berdasarkan hasil pemeriksaan Sukamto (2012) mengenai pemeriksaan keausan kampas rem pada mobil Honda Supra X 125 cruiser. Melalui uji keausan dengan strategi kasar, dapat dimaklumi bahwa laju keausan kampas rem semakin rendah dan contoh bantalan rem lingkaran Honda Supra X 125 dari merek AHM memiliki tingkat jarak tempuh yang tidak dapat disangkal. keausan lebih rendah dari merek INDOPART, sehingga kampas rem merek AHM lebih tahan terhadap jarak tempuh. (Sukamto, 2012).

Pada tahun 2012 eksplorasi dipimpin di Perguruan Tinggi Lampung oleh Yusman (2012), sehubungan dengan dampak ukuran serpihan lalat terhadap kekuatan busur.

komposit karet epoksi. Dari penelitian ini diketahui bahwa nilai kekuatan puntir komposit yang paling menonjol terjadi pada ukuran molekul 120 mesh yaitu 59,26 N/mm<sup>2</sup> dan nilai bending komposit epoksi murni adalah 98,15 N/mm<sup>2</sup>. Semakin kecil ukuran butir serpihan lalat dalam komposit, semakin besar pula kekuatan puntir komposit, mengingat daerah kontak permukaan antar butir semakin luas. (Yusman, 2012).

Kemudian, pada tahun 2015 eksplorasi dipimpin di Perguruan Tinggi Lampung oleh Shirley Savetlana dan Gusri Akhyar Ibrahim (2015) tentang Dampak Grafit dan NBR pada Flyash/phenolic Hardness. 5% grafit. Luas goresan eksplisit paling minimal 1,55E-7 mm<sup>3</sup>/mm diperoleh dari komposit yang terdiri dari 5% NBR dan 10% grafit. NBR memperluas pepadatan dan grafit membangun kekerasan dan oposisi daerah tergores komposit.

Pada tahun 2016 dilakukan eksplorasi di Perguruan Tinggi Lampung oleh Lingga (2016), mengenai ketahanan aus komposit batubara/fenolik. Kandungan 30% serpihan fly ash adalah struktur yang paling ideal karena nilai titik tergores paling sedikit dan penyebaran molekul tersampaikan secara merata sehingga dapat menahan laju keausan dengan baik. Persepsi foto-foto SEM dari contoh-contoh dengan tingkat keausan yang paling penting pada kandungan puing-puing flyash 40%, phenolic sebagai penutup kurang disesuaikan secara merata dalam puing-puing fly ash yang menyebabkan fly ash tidak cukup mampu menahan gesekan dalam uji keausan. Persepsi dari contoh foto SEM dengan tempat tergores eksplisit terbaik terjadi pada kandungan 30% dari puing-puing fly ash bagian atas, fenolik sebagai

pengikat lebih merata pada abu terbang sehingga abrasi yang terjadi pada uji keausan lebih kecil dibandingkan spesimen lain. (Lingga, 2016)

Barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) adalah bahan pengisi (*filler*) yang mempunyai densitas tinggi, serta mempunyai ketahanan aus yang stabil pada temperature suhu yang tinggi. Pada komposit kanvas rem pengisi (*filler*) mempunyai fraksi volume yang dapat mencapai 40 % dari fraksi volume komposit kanvas rem tersebut. Besarnya fraksi volume *filler* yang ditambahkan pada komposit dapat berpengaruh terhadap ketahanan aus komposit kanvas rem (Friedrich dkk, 2005).

Merujuk pada penjelasan di atas, penelitian kali ini akan dilakukan pembuatan komposit kanvas rem dengan variasi barium sulfat, yang mana nantinya dapat diketahui pengaruh variasi barium sulfat terhadap laju keausan komposit abu terbang batubara (*fly ash*) / *phenolic* maka dari itu penulis tertarik untuk menjadikan sebuah penelitian tugas akhir dengan judul “ Pengaruh barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) terhadap ketahanan aus komposit abu terbang batu bara (*fly ash*) *phenolic*”

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh barium sulfat terhadap ketahanan aus komposit *fly ash* / *phenolic* .
2. Mengetahui morfologi dan mekanisme kegagalan yang terjadi pada komposit dengan foto SEM.

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini dapat bermanfaat untuk menyediakan informasi tentang pengaruh pada penambahan barium sulfat terhadap komposit *fly ash/phenolic* dengan melalui pengujian ketahanan aus.

### **1.4 Batasan Masalah**

Masalah yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal yaitu :

1. Komposit dibuat dengan campuran bahan material *fly ash* batubara, *phenolic*, grafit, barium sulfat.
2. Pengujian sifat mekanik komposit dengan uji keausan menggunakan metode ogoshi.
3. Volume barium sulfat 15%, 10%, 5%.
4. Mengetahui permukaan spesimen dan mekanisme landasan komposit yang dilakukan dengan pengamatan SEM.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam menyusun laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

## **BAB I. PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini menjelaskan tentang teori komposit, bahan-bahan penyusun komposit, proses metalurgi serbuk komposit, kanvas rem, keausan dan pengujian keausan.

## **BAB III. METODE PENELITIAN**

Berisikan tentang metode yang dilakukan penulis untuk mengumpulkan informasi, alat dan bahan yang digunakan, tempat dan waktu penelitian serta menerangkan alur proses penelitian, sebagaimana proses pengambilan data yang dilakukan.

## **BAB IV. DATA DAN PEMBAHASAN**

Berisikan tentang data pengamatan yang diperoleh, hasil pengujian dan pembahasan.

## **BAB V. SIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan simpulan yang diperoleh dari hasil pengujian dan pembahasan.

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Komposit

Komposit adalah jenis material lain yang muncul karena perancangan yang terdiri dari setidaknya dua material dimana sifat-sifat setiap material tidak sama satu sama lain baik sifat senyawa maupun sifat sebenarnya dan tetap terpisah pada produk akhir dari material tersebut (bahan komposit). Dengan perbedaan bahan penyusunnya, komposit antar bahan harus benar-benar diperkuat, sehingga penting untuk menambahkan spesialis pembasahan. Menurut Handoyo Kus (2008). Secara praktis komposit terdiri dari bahan utama (jaringan) dan semacam (penopang) yang ditambahkan untuk memperluas kekuatan dan kekokohan kisi. Dukungan ini biasanya sebagai (serat, serat).

Bahan komposit secara luas digunakan dengan menggunakan filamen biasa sebagai pendukung. Pembatas bangunan Mesir kuno yang berusia lebih dari 3000 tahun terbuat dari tanah yang dibangun dengan jerami. Seorang peternak membentengi tanah dengan jerami, ahli besi membuat bilah berlapis-lapis dan beton bertulang adalah sebagian dari jenis komposit yang telah kita kenal cukup lama. Komposit dibentuk dari dua jenis bahan yang berbeda, khususnya: 1) (*reinforcement*) atau penguat, mempunyai sifat kurang *ductilen* tetapi lebih ringan dan juga lebih kuat.

2) Matrik, biasanya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.

Pada material komposit, sifat-sifat komponen pendukung masih terlihat jelas, sedangkan pada amalgam komponen pendukung belum terlihat. Salah satu kelebihan material komposit jika dibandingkan dengan material yang berbeda adalah campuran komponen yang dominan dari setiap komponen penyusunnya. Sifat-sifat material yang terkonsolidasi dituntut untuk saling melengkapi kekurangan pada setiap material penyusunnya. Properti yang tidak habis-habisnya meliputi:

- a. kekuatan
- b. ketahanan korosi
- c. ketahanan gesek
- d. berat (*Weight*)
- e. ketahanan lelah
- f. Meningkatkan konduktivitas panas
- g. Tahan lama

Ada banyak jenis komposit, salah satunya adalah komposit yang tersusun molekul dengan jaringan polimer. Partikel umumnya digunakan dalam komposit sebagai jenis dukungan, dukungan dalam komposit secara signifikan mempengaruhi sifat-sifat komposit. Penggabungan partikel keras di grid dapat menghasilkan komposit lain, dengan manfaat sifat mekanik dari bahan dasar komposit. Sementara itu, untuk menentukan sifat mekanik komposit, cenderung tidak benar-benar diselesaikan dengan melakukan uji standar pada

contoh. Kontras dan bahan konvensional seperti beton, komposit memiliki berbagai manfaat, termasuk resistensi iklim, penghalang senyawa, bobot yang lebih ringan, dan manfaat utama komposit adalah bahwa mereka tidak sulit untuk dibingkai dan diproduksi sehingga dapat menghemat uang untuk biaya persiapan, komposit juga mudah dibentuk dan memungkinkan bentuk yang rumit. Natural asbes grinding (NAO) umumnya digunakan pada kendaraan dan kereta api sebagai bantalan rem, sepatu rem, pelapis. Bahan rem otomatis adalah komposit yang membingungkan yang terdiri dari campuran bahan komposit yang berbeda, Bahan ini secara teratur dipesan ke dalam tiga kelas penutup tengah, pengisi, penopang.

Barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) adalah bahan pengisi yang biasa digunakan sebagai campuran dalam komposit untuk pembuatan kampas rem dengan koefisien gesek yang paling besar terdapat pada contoh yang disebut B20. Keausan yang paling menonjol adalah pada model yang disebut B40 (Banu Sugozi, 2016).

Pada penelitian (Ho jang, 2017) diamati bahwa masuknya barium sulfat meningkatkan stabilitas koefisien gesekan. Hal ini tampaknya disebabkan oleh pembentukan oksida antimon pada suhu tinggi dan oksida berperan sebagai pelumas pada suhu tinggi. Serta stabilitas gesekan lebih meningkat dengan menambahkan lebih banyak barium sulfat pada bahan spesimen.

## **2.2 Abu terbang (*Fly ash*)**

Limbah batu bara adalah molekul halus yang merupakan simpanan dari tumpukan bubuk yang muncul karena pembakaran batu bara. Kerugian dalam tinniter bisa dalam jumlah yang sangat besar. Jumlahnya sangat besar,

sehingga membutuhkan papan agar tidak menimbulkan masalah alam, misalnya pencemaran udara, air dan perusakan lingkungan. Batubara adalah barang tambang, karena batubara terletak pada kedalaman tanah sekitar 10 sampai 80 m. Di atas lipatan batubara terdapat lapisan penutup dan batupasir. Penambangan batubara dilakukan di tambang terbuka, yaitu pengambilan lapisan tanah penutup terlebih dahulu kemudian pengambilan batubara. Sisa pembakaran dengan batubara menghasilkan abu yang disebut dengan fly ash. (fly ash) limbah batu bara memiliki berupa unsur kimia sebagai berikut :  $Al_2O_3$  : 31%,  $Fe_2O_3$  : 4,8% dan  $MgO$  : 4,6%  $SiO_2$  : 52%, Karakteristik Abu terbang ( *Flyash* )

Fly ash batubara merupakan limbah kuat yang timbul karena adanya siklus pembakaran pada heater di PLTU TARAHAN yang kemudian dilengkapi dengan sisa-sisa pengapian dan ditangkap menggunakan electrostatic precipitator. Fly ash batubara adalah penumpukan mineral dalam butiran halus yang terjadi karena pembakaran batu bara yang ditumbuk di pembangkit listrik. Fly ash batubara terdiri dari bahan anorganik yang terkandung dalam batubara yang telah melalui kombinasi selama pembakaran. Bahan ini mengeras saat berada di gas buang dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatis. Karena partikel-partikel ini mengeras saat tersuspensi dalam gas buang, partikel fly ashum pada umumnya cocok. Partikel fly debris yang terkumpul dalam electrostatic precipitator umumnya berukuran sedimen (0,074 – 0,005 mm). Bahan ini sebagian besar terbuat dari silikon dioksida ( $SiO_2$ ), aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ) dan oksida besi ( $Fe_2O_3$ ). Faktor

fundamental yang mempengaruhi kandungan mineral fly ash dari batubara adalah:

- a. Komposisi kimia batu bara
- b. Proses pembakaran batu bara
- c. Bahan tambahan yang digunakan termasuk bahan tambahan minyak untuk stabilisasi nyala api dan bahan tambahan untuk pengendalian korosi.

Campuran yang membentuk flyash batubara ditentukan oleh mineral kontaminasi intrinsik yang ditemukan dalam batubara sebenarnya, yang disebut materi mineral bawaan. Polutan yang terkandung dalam batubara dapat dicirikan menjadi dua yaitu:

- a. *Syngentic* atau disebut dengan mineral matter : dasarnya mineral ini terendapkan di tempat tersebut bersamaan dengan saat proses terjadi pembentukan paet.
- b. *Epigenetiica* dapat dikatakan sebagai extranneous minerall matterr: yangg dimana pada prinsiipnya minerall-minerall pengotorr ini dapat terakumulasi padaa cekungaan setelahh terjadii proses pembentukann lapisann peatt tersebutt selesaii.

Dari jumlah abu yang tercipta dalam siklus pembakaran batubara, sebanyak 55% - 85% merupakan fly ash dan sisanya berupa base debris atau abu dasar. Sementara itu, dari PLTU Suralaya, hampir 90% sampah yang dihasilkan berupa sampah lalat (Fly ash). Kedua jenis puing ini memiliki atribut dan pekerjaan yang berbeda-beda. Biasanya kotoran batubara (fly ash) banyak digunakan dalam organisasi mekanik karena fly ash ini

memiliki sifat pozzolan, sedangkan untuk base fly ash hampir tidak ada pemanfaatannya dan biasanya digunakan sebagai bahan pengisi (Aziz1,2006)

### 2.3 Bahan penyusun komposit

Bahan struktur komposit terdiri dari beberapa bagian yang dapat bekerja pada sifat komposit, bahan penyusun komposit antara lain adalah sebagai berikut :

#### 1) *Fly Ash*

Abu terbang (*fly ash*) adalah akumulasi dari konsumsi batu bara di pembangkit listrik. Abu terbang memiliki titik cair sekitar 1300 ° Celcius dan berdasarkan uji organisasi sintetis, serpihan lalat mengandung banyak CAS ( $CO-Al_2O_3 SiO_2$ ) yang merupakan penyusun dasar kaca organisasi. Puing-puing lalat memiliki massa (ketebalan) antara 2,0–2,5gr/cm (Bienias, 2003). Ada beberapa jenis puing-puing lalat sesuai SNI S-15-1990-F melihat penentuan sampah lalat sebagai bahan tambahan untuk kombinasi substansial, puing-puing lalat disusun menjadi 3 macam, yaitu:

##### a. Kelas N

Pancaran terkalsinasi biasa atau pozzolan yang memenuhi persyaratan yang dapat dimanfaatkan oleh kelompoknya, misalnya beberapa tanah diatom, chert opalinse dan potongan tuf dan puing-puing vulkanik atau batu apung, dan berbagai bahan yang mungkin tidak dapat dibuat dengan kalsinasi dan bahan berbeda yang mengharapkan kalsinasi untuk memperoleh sifat yang memuaskan, misalnya beberapa jenis lumpur dan tetesan

##### b. Kelas F

Abu batubara yang umumnya dibuat dari mengkonsumsi antrasit (*sparkling*

hard coal) atau batubara bituminous yang memenuhi kebutuhan yang dapat dimanfaatkan untuk golongan ini sesuai kebutuhan. Debris batubara jenis ini memiliki sifat Pozzolan (Husin, 1998)

c. Kelas C

Abu batubara yang sebagian besar dibuat dari batubara lignit atau substituent yang memenuhi kebutuhan untuk kelas ini sebagaimana dipersyaratkan. Limbah dari batubara ini, yang dimana selain mempunyai karakter pozolan kemudian mempunyai beberapa sifat yang dimana mirip dengan sifat solidifikasi (Husin, 1998 .)

Berikut beberapa komposisi kimia sifat fisik limbah batubara menurut ASTM

C618– 91 ( Husin,1998) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 2.1 Unsur senyawa kimia dan sifat fisika pada *fly ash*

Susunan Kimia dan Fisika	Kelas F (%)	Kelas C (%)
Silikon dioksida	54,90	39,90
Sulfur dioksida	5,0	5,0
Kadar air	3,0	3,0
Hilang pijar	6,0	6,0
Na <sub>2</sub> O	1,5	1,5

(Sumber:Andriati Amir Husin)

Menurut SK SNI S- 15- 1990- F p- 1, yang dimaksud dengan :

- a. Abu batubara kelas N adalah hasil kalsinasi dari pozzolan alam seperti tanah diatonice, shale (serpih), tuff dan batu apung yang beberapa jenis dari bahan

tersebut ada yang tidak mengalami kalsinasi.

- b. Abu batubara kelas F adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis anthrasite pada suhu  $1560^{\circ}\text{C}$ , abu batubara ini memiliki sifat pozzolan.
- c. Abu batubara kelas C adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau batubara dengan kadar karbon  $\pm 60\%$ , abu ini mempunyai sifat pozzolan dan sifat menyerupai semen dengan kadar kapur diatas 10%

Sedangkan pada data analisis kimia *fly ash* yang berasal dari Tarahan Provinsi lampung adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Analisis kimia *fly ash* Tarahan Provinsi Lampung.

Susunan Kimia dan Fisika	Nilai (%)
$\text{SiO}_2$	61,55
$\text{Al}_2\text{O}_3$	22,31
MgO	0,52
$\text{SO}_3$	2,56
$\text{Na}_2\text{O}$	1,86

(Sumber:Hasil Laboratorium P.T. Sucofindo)

Dilihat dari tabel dan data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa *fly ash* yang berasal dari Tarahan Provinsi Lampung adalah kelas F, karena silikon dioksida di Area Tarahan Lampung bernilai 61,5% sedangkan dalam penulisan saat ini nilai silikon dioksida serpihan flyash tipe F setidaknya 54,90%. Selanjutnya, puing-puing flyash Tarahan berasal dari batu bara yang keras dan berkilau (antrasit) sesuai dengan jenis sampah lalat kelas F sesuai SNI S-15-1990-F.

## 2) Grafit

Grafit umumnya berwarna gelap sampai tembaga redup, kekerasan 1–2 (skala Mohs), gravitasi eksplisit 2,1–2,3, tidak berbau dan tidak beracun, dan tidak larut, selain dalam korosif hidrofluorik. Interaksi disintegrasi terjadi secara bertahap pada suhu 6000C dan dalam kondisi oksida atau pada suhu 3.5000C ketika kondisi non-oksida. Grafit adalah bahan pengubah penggosok. Peningkatan gesekan yang terjadi pada grafit dapat disebabkan oleh struktur dan kelembapan . Penambahann grafit mampu meningkatkan ketahanann auss dann jugaa dapaat mempeengaruhi koefisieen geseck.

## 3) Resin *phenolic*

Resin phenolic merupakan matrik dalam komposit. Phenolic sendiri memiliki bentuk berupa serbuk yang halus yang berwarna hitam. Phenolic resin digunakan untuk bahan utama dalam pembuatan spesimen. Barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ )

## 4) Barium sulfat

Sulfat barium merupakan senyawa anorganik yang memiliki rumus kimia  $\text{BaSO}_4$ . Ini merupakan padatan kristal putih yang tidak berbau dan tidak larut dalam air. Barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) mampu meningkatkan kerapatan massa dan dapat meningkatkan ketahanan pada temperatur tinggi serta dapat mengurangi tingkat keausan.

Pada penelitian ( Ama,2010 ) tentang pengaruh barium sulfat pada kekuatan tarik ultimit specimen bahan gesekan. Menunjukkan bahwa semakin tinggi

kandungan barium sulfat, semakin tinggi stabilitas termal dari koefisien gesekan (ketahanan pudar yang tinggi) dan semakin tinggi tingkat keausan. hal ini menunjukkan bahwa variasi barium sulfat dapat mempengaruhi koefisien gesek dan mampu meningkatkan kerapatan massa dengan sangat baik.

#### **2.4 Kampas rem**

Rem adalah alat untuk memperlambat atau menghentikan perkembangan roda. akibatnya kendaraan akan mundur. Energi motor yang hilang dari benda bergerak ini biasanya berubah menjadi panas karena gesekan. Mekanisme berhenti pada kendaraan adalah alat kesehatan yang penting dalam berkendara, kesalahan rem dapat menyebabkan risiko dan keamanan berkendara jadi terganggu, Berikut fungsi dari sistem rem adalah :

1. Memperlambat kecepatan atau menghentikan gerakan roda kendaraan.
2. Mengatur kecepatan selama berkendara.
3. Menahan kendaraan saat parkir dan berhenti pada jalan yang menurun atau menanjak.
4. Standar fungsi mekanisme penghentian adalah mengubah energi motor menjadi panas dengan cara menggesekkan dua buah logam pada benda putar dengan tujuan agar putaran akan mundur. Selanjutnya, segmen rem kisi-kisi ini harus tahan terhadap gesekan (sulit dipakai), aman dari panas dan tidak terdistorsi secara efektif saat bekerja pada suhu tinggi.

#### **2.5 Komposisi Kampas Rem**

Sebelum tahun 1870, roda kendaraan masih terbuat dari kayu, dan peralatan yang digunakan untuk menahan roda juga terbuat dari kayu. Namun, sejak tahun 1870, velg mulai dibuat menggunakan besi untuk mengurangi jarak

tempuh dari kayu. Pada saat itu grating brake juga menggunakan besi. Penggunaan besi untuk grating rem membuatnya lebih kokoh, namun remnya tidak mencengkeram. Memasuki tahun 1897, pemanfaatan rem jenis tromol (brake lining) pada kendaraan mulai digunakan. Rem jenis ini dibuat oleh Herber Food dari perusahaan Ferodo Ltd. Bahan yang digunakan adalah kombinasi sabut dan kain katun (cotton belting).

Kemudian, pada saat itu sekitar tahun 1908, bahan asbes mulai digunakan. Asbes adalah senyawa logam banyak untaian yang disatukan menggunakan pengikat namun belum terbentuk. Sampai tahun 1920, kampas rem mulai dicetak dengan filamen logam yang lebih terbatas, logam yang lebih baik, dan perluasan bahan alami. Bagaimanapun, pada tahun 1994, ditemukan bahwa asbes mengandung agen penyebab kanker yang dituding sebagai salah satu zat yang menyebabkan kerusakan sel di paru-paru.

Apalagi dampaknya baru terasa setelah 10-15 tahun. Sejak saat itu, pembuatannya secara bertahap dihentikan. Semuanya sama, penggunaan logam, serat tembaga, dan tumbuk aramid. Bantalan rem non-asbes ini dipisahkan menjadi 2, yaitu baja rendah yang sebenarnya mengandung sedikit besi dan non-baja yang tidak menggunakan besi. Selain tidak berbahaya bagi lingkungan, bantalan rem non-asbes juga memiliki segudang manfaat, seperti tahan lama, tahan panas, dan memiliki kontak yang baik. Namun, ada 2 kelemahannya, tanah dari penguraian material gelap dapat mengotori tepi dan harganya lebih mahal daripada bantalan rem asbes. Namun, saat ini beberapa produsen telah meninggalkan penggunaan asbes. Mungkin nantinya, bantalan

rem kendaraan massal menggunakan bahan artistik yang lebih aman terhadap panas. Namun, saat ini bahannya masih terlalu mahal. Walaupun sekarang sudah ada kendaraan massal yang memanfaatkannya, rem jenis ini umumnya digunakan pada kendaraan yang melaju kencang (Ari Trisianto Wibowo, 2010).

Bahan mentah kampas rem asbes : asbes 40 sd 60%, sap 12 sd 15%, BaSO<sub>4</sub> 14 sd 15%, sisanya digunakan karet ban, buat skrap tembaga, gesekan debu. Bahan mentah kampas rem non asbes: aramyd/kevlar/twaron, rockwool, fiberglass, potassium titanate, carbonfiber, graphite, cellulose, vemiculate, steelfiber, BaSO<sub>4</sub>, gum, Nitrile butidine elastic.

## **2.6 Material Komposit Untuk Kampas Rem**

Indonesia kaya akan bahan tambang seperti oksida logam seperti Kalsit, Barit, Hematit, Silikat, dan sebagainya yang sangat membantu dan ekonomis untuk pengembangan bahan yang aman aus. Selain itu, ia juga memiliki potensi bahan alami normal lainnya. yang dapat dimanfaatkan sebagai pitch sebagai material komposit lattice. Saat ini adalah kesempatan yang ideal bagi kami untuk memanfaatkan aset reguler kami, yang memiliki nilai tambah tinggi, menikmati manfaat relatif, sejauh kualitas barang dan kualitas barang Unggul dari segi biaya. Kita harus memiliki pilihan untuk membuat bahan cerdas dari bahan mentah lingkungan yang bermanfaat.

Sebagai aturan umum, empat pesanan bahan kisi harus mengandung jenis bahan penyusun yang terdiri dari bahan penutup, bahan serat dan bahan pengisi. Material kampas rem komposit yang akan kami uji adalah komposit

yang terdiri dari getah sebagai pengikat. Getah ini berfungsi untuk mengikat berbagai zat penyusun dalam bahan. Resin sintetik yang digunakan terdiri dari 2 macam, yaitu termoset dan termoplastik.

Saat dipanaskan, perilaku kedua tar ini akan unik. Termoset tidak melunak meskipun termoplastik lunak tetapi akan mengeras lagi setelah pendinginan. Perbedaan dalam kecenderungannya ditentukan oleh konstruksi interiornya. Komposit material rem yang akan kami uji adalah komposit yang diperkuat dengan epoxy gum. Selain itu, bahan pengisi digunakan untuk mengembangkan siklus pembuatan lebih lanjut dan berfungsi sebagai minyak pelumas. Ada dua jenis filler, yaitu filler alami dan filler anorganik.

Pengisi alami seperti residu dan morsel elastis (potongan elastis) sedangkan pengisi anorganik seperti  $BaSO_4$ ,  $CaCO_3$ ,  $Ca(OH)_2$  dan  $MgO$  (Desi, 2008). Terlebih lagi, yang paling signifikan adalah serat pendukung. Serat berfungsi untuk memperluas koefisien kisi dan meningkatkan kekuatan mekanik material. Fiber yang akan kita gunakan dalam eksplorasi ini adalah fiber elektif yang didapat dari batubara yang sebelumnya merupakan hasil pembakaran. Di sana-sini untuk mengubah derajat grating dan membersihkan bagian luar rotor, ditambahkan material kasar seperti  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $MgO$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $SiC$ ,  $ZrSiO_4$  dan kyanit/ $Al_2SiO_5$  (Desi, 2008). *Abrasif* juga dipakai untuk mengontrol kecepatan *wear* dan menstabilkan koefisien gesek.

Untuk memenuhi kebutuhan dan menjaga keamanan dalam mengemudikan kendaraan dan mengikuti kontes, bahan gerinda memerlukan pelaksanaan kontak yang besar dan biaya yang minimal. Namun, umumnya bahan mentah

dengan kinerja penggilingan yang baik memiliki biaya yang cukup mahal. Untuk membuat "pengereman" lain dengan nilai yang memadai pada koefisien kisi dan kecepatan keausan yang rendah, faktor pengeluaran dari dua bahan mentah dari interaksi perakitan harus benar-benar dipikirkan. Bahan sangat penting digunakan dalam menentukan pelaksanaan kontak dan juga biaya, sehingga penentuan dan penilaian bahan mentah sangat penting. Metodologi pemilihan bahan untuk pengembangan "bahan pelapis rem" di mana tampilan mekanis miniatur digunakan untuk menghubungkan pelaksanaan secara umum dengan pilihan bahan penyusun dan sifat-sifatnya.

Memutuskan potongan bahan penggilingan sangat penting sebelum membuat bahan erosi. Kepastian potongan bahan gosok diselesaikan dengan mendemonstrasikan penggunaan pengujian faktorial, tahapan dan campuran untuk mendapatkan bahan dengan koefisien kisi yang tinggi dan keausan yang rendah (Desi, 2008).

## **2.7 Keausan**

Keausan adalah penguraian ketebalan permukaan akibat gesekan yang terjadi pada pembebanan dan gerakan. Keausan umumnya dianalogikan sebagai hilangnya materi sebagai akibat interaksi mekanik dua permukaan yang bergerak *slidding* dan dibebani. Ini merupakan fenomena normal yang terjadi jika dua permukaan saling bergesekan, maka akan ada keausan atau perpindahan materi yang terjadi antara dua benda yang bergesekan (Sularso,1997) Keausan sendiri mempunyai dua sifat yaitu keausan normal dan keausan tidak normal (akibat penggantian minyak pelumas yang tidak teratur).

Hal – hal yang mempengaruhi keausan :

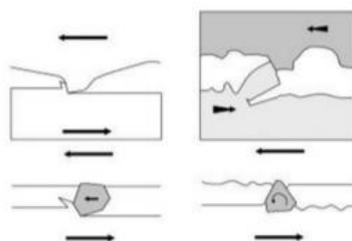
1. Pembebanan
2. Kecepatan
3. Jumlah minyak pelumas
4. Jenis minyak pelumas
5. Temperatur
6. Kekerasan permukaan

Keausan di klasifikasikan menjadi beberapa bagian yaitu keausan *adhesive*, keausan *abrasive*, keausan lelah , keausan oksidasi dan keausan erosi.

## 2.8 Jenis-jenis Keausan

### a) Keausan *adhesive*

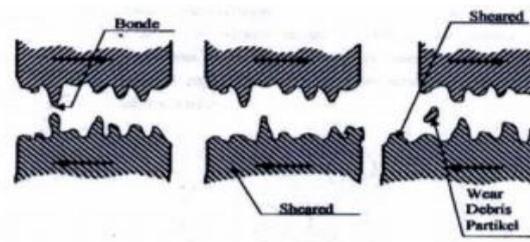
Keausan *adhesive* merupakan salah satu jenis keausan yang diakibatkan oleh terikat atau melekat ( *adhesive* ) atau berpindahnya partikel dari suatu permukaan material yang lemah ke material yang lebihn keras serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan pengoyakan salah satu material. Interaksi dimulai ketika item dengan kekerasan yang lebih tinggi menyentuh permukaan yang tidak berdaya dan kemudian terjadi penahanan. Pembatasan ini terjadi segera dan dapat terjadi pada suhu rendah (Sularso, 1997).



Gambar 2.1 Proses terjadinya keausan *adhesive* (Sularso, 1997)

b) Keausan *abrasive*

*Abrasive* terjadi bila suatu partikel keras dari bahan tertentu meluncur di luar bahan lain yang lebih lembut sehingga terjadi infiltrasi atau pemotongan bahan yang lebih ringan. Tingkat keausan dalam komponen ini ditentukan oleh tingkat peluang partikel keras (Sularso, 1997).



Gambar 2.2 Proses terjadi keausan abrasive (Sularso, 1997)

c) Keausan lelah

Keausan lelah pada tingkat yang dangkal pada dasarnya dapat terjadi baik secara abrasif atau perekat. Namun, keausan semacam ini terjadi karena sambungan permukaan di mana permukaan terkena beban berulang yang akan mendorong pengaturun kerusakan kecil. Hal ini akan menyebabkan peningkatan tekanan gesek (Sularso, 1997).

d) Keausan Oksidasi / Korosif

Keausan kimiawi adalah kombinasi dari proses mekanis dan proses termal yang terjadi di akibatkan permukaan benda serta lingkungan sekitarnya.

e) Keausan Erosi

Keausan erosi disebabkan oleh gas dan cairan yang membawa partikel kuat yang menghantam bagian luar material. Jika titik pengaruhnya kecil, keausan

selanjutnya sebanding dengan keausan kisi. Meskipun demikian, jika titik efek membentuk titik daya biasa (90 derajat)

## **2.9 Kegagalan Komposit**

Apabila suatu struktur tidak dapat berfungsi dengan sempurna, maka struktur tersebut dianggap struktur yang gagal. Pada sebuah struktur apabila diberi pembebanan yang kecil mungkin hanya terjadi sedikit deformasi, namun pada struktur lainnya sudah mengakibatkan kegagalan pada strukturnya. Hal tersebut terjadi karena tiap-tiap bahan pada komposit memiliki sifat mekanik yang berbeda-beda, dimana komposit memiliki dua komponen utama yang kegagalannya dapat dimulai dari salah satu komponen ataupun keduanya. Kegagalan yang dapat terjadi yaitu (Hull D, 1981):

1. Kepatahan pada serat (Fiber Breaking).
2. Retak mikro pada matrik (Matrik Mikrocracking).
3. Lepasnyaa serat dari matrik (Fiberr Pull-Out atau Debondiing).
4. Terlepasnya lamina dari laminate (delimitation).

## **2.10 Pengamatan SEM (*Scanning electron microscopy*)**

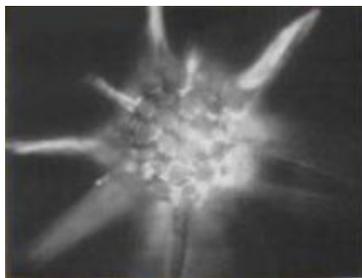
Elektron memiliki tujuan yang lebih tinggi daripada cahaya. Sedangkan cahaya hanya dapat sampai pada 200 nm dan elektron dapat sampai pada sasaran hingga 0,1 – 0,2 nm. Selanjutnya, dengan memanfaatkan elektron kita dapat melihat beberapa jenis pantulan yang berguna untuk tujuan penggambaran. Dalam lensa pembesar elektron (SEM) ada beberapa gigi dasar antara lain;

1. Pistol elektron, biasanya berupa filament yang terbuat dari unsur yang mudah melepaskan elektron, seperti tungsten.
2. Lensa elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.

Berikut adalah cara kerja dari SEM :

1. Pistol elektron memproduksi sinar elektron yang dimana dipercepat dengan anoda.
2. Titik fokus yang menarik berpusat di sekitar elektron yang mendorong contoh..
3. Poros elektron terpusat (filter) di seluruh contoh dengan dikoordinasikan oleh loop yang meminta.

Pada Gambar 2.3 di bawah ini akan diberikan pemeriksaan efek samping dari gambar instrumen pembesar cahaya dengan lensa pembesar elektr



(a)



(b)

Gambar 2.3 Perbandingan hasil gambar (a) mikroskop cahaya (b) mikroskop elektron

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat Penelitian

Metode pembuatan kampas rem dengan menggunakan bahan abu terbang (*fly ash*) batubara dan bermatrik *phenolic* dilakukan di laboratorium Material Teknik Universitas Lampung dan pengujian sifat mekanik (ketahanan aus komposit abu terbang / *phenolic*) dilakukan di laboratorium uji material kampus baru Universitas Indonesia Depok.

#### 3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan

##### 1. Alat yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Saringan Ayakan 100  $\mu\text{m}$

Gambar 3.1 merupakan gambar saringan ayakan yang digunakan pada penelitian ini untuk mendapatkan ukuran yang seragam pada bahan campuran komposit dengan ukuran 100  $\mu\text{m}$  .



Gambar 3.1. Saringan ayakan

### b. Cetakan

Gambar 3.2 merupakan cetakan yang digunakan pada penelitian ini. Cetakan ini berbentuk balok dan bahan cetakan ini dibuat menggunakan baja dengan kelas sedang



Gambar 3.2. Cetakan spesimen uji.

### c. Timbangan Digital

Digunakan untuk menimbang bahan campuran komposit untuk menentukan komposisi massa yang sudah ditentukan. Dengan tingkat ketelitian 1gr dan kapasitas beban 10 kg. Berikut timbangan digital yang di tunjukan pada gambar 3.3



Gambar 3.3. Timbangan digital

d. Mixer

Digunakan untuk mencampur komposisi bahan dari abu terbang batubara, *phenolic*, grafit, barium sulfat, NBR, dan serbuk besi agar dapat tercampur secara merata. Mixer Philips ini menggunakan daya motor sebesar 170 watt. Alat yang di gunakan dapat di lihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4. Mixer

e. Dongkrak Hidrolik

Dongkrak hidrolik digunakan sebagai alat press komposit yang terdapat pada cetakan agar spesimen komposit menjadi lebih padat sesuai dengan ketentuan. Alat yang digunakan dapat di lihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5. Dongkrak hidrolik

Tabel 3.1. Spesifikasi dongkrak hidrolik

Nama	Hydraulic Press Floor Type 20T
Model	KW0500137
Kapasitas	20T
Dimensi (P x L x T) (mm)	740 x 700 x 1800
Berat	61 kg

f. Furnace

Alat yang digunakan untuk memanaskan spesimen komposit dengan waktu dan temperature yang ditentukan (proses *curing*). Alat yang digunakan dapat di lihat pada gambar 3.6

Gambar 3.6. *Furnace*Tabel 3.2. Spesifikasi *furnace*

Nabertherm lilienthal (Germany)	
Model	L64/14
Tahun pembuatan	2000
T Max, (°C)	1400
Daya, (kW)	13,0
Arus, (A)	16/16/28
Frekuensi, (Hz)	50

- g. Mesin Uji Keausan (*Ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U*)

Gambar 3.7 Merupakan gambar mesin ogoshi *high speed universal wear testing machine type OAT-U* untuk menentukan laju keausan suatu material



Gambar 3.7. *Ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U*

Tabel 3.3. Spesifikasi mesin uji keausan *ogoshi*

Ogoshi's Universal Wear	
Type	OAT-U
Contacting pressure	30-400 kg/cm <sup>2</sup>
Abrading speed	0,052-3,52 m/s
Max. load	20 kg
Abrading length	67-600 m

## 2. Bahan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Abu terbang batubara (*Fly ash*)

Abu terbang batu bara (*Fly ash*) bahan ini digunakan sebagai penguat pada bahan komposit dan juga sebagai bahan utama spesimen komposit. dapat di lihat pada gambar 3.8



Gambar 3.8. Abu terbang batubara

Tabel 3.4. Spesifikasi abu terbang batubara

Densitas	2,0 - 2,5 g/cc
Titik lebur	1300 °C
Kandungan	,Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,CaO, SiO <sub>2</sub>

*b. Phenolic*

*Phenolic* resin yang digunakan sebagai matrik merupakan serbuk berwarna hitam yang memiliki ketahanan panas yang cukup baik. Resin ini mampu tahan pada temperatur tinggi hingga 200° C.

Gambar 3.9. *Phenolic*Tabel 3.5. Spesifikasi *phenolic*

Warna	Hitam
Densitas	1,3-1,4 g/cc
<i>Tensile strength</i>	34-62 MPa
<i>Tensile modulus</i>	0,6-1,2 Gpa
Temperatur maksimum	149-204 °C

## c. Grafit

Gambar 3.10 menunjukkan gambar grafit yang berbentuk serbuk dan berwarna hitam, grafit termasuk bahan *friction modifier*. Penambahan grafit bisa meningkatkan ketahanan aus dan juga dapat mempengaruhi koefisien gesek.



Gambar 3.10. Grafit

Tabel 3.6. Spesifikasi grafit

Densitas	1,70 - 1,85 g/cc
Kekuatan tekan	25 - 70 MPa
Bending	15 - 40 MPa
Kekerasan	30 - 50

d. Barium Sulfat ( $\text{BaSO}_4$ )

Gambar 3.11 Menunjukkan barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) bahan yang dapat meningkatkan kerapatan massa serta ketahanan pada temperatur tinggi dan juga dapat mengurangi tingkat keausan.



Gambar 3.11. Barium sulfat

Tabel 3.7. Spesifikasi barium sulfat

Nama, simbol	Barium sulfat BaSO <sub>4</sub>
Penampilan	Kristal putih tidak berbau
Densitas	4,5 g/cc
Titik leleh	1345 °C
Titik didih	1600 °C
Kelarutan dalam air	0,0002448 gr/100 ml (20 °C) , 0,000285 gr/100 ml (30 °C)

### 3.3 Prosedur Pembuatan dan Pengujian Spesimen Uji Komposit

Sebelum melakukan pembuatan spesimen uji, penelitian ini terlebih dahulu melakukan *study literature*. Pada proses ini hal yang dilakukan adalah mengumpulkan data awal. *Study literature* bertujuan untuk memahami masalah yang ada pada penelitian dan juga untuk menyusun langkah kerja penelitian yang akan dilakukan. Pada tahapan awal, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah survei lapangan yang berhubungan pada penelitian dan mengumpulkan data-data pengujian lain yang sudah ada untuk dapat membandingkan pada hasil ujian yang akan dianalisa.

Berikut adalah prosedur yang akan dilakukan dalam pembuatan komposit yang terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

### **a. Persiapan Pemilihan Serbuk**

Pada penelitian ini serbuk yang digunakan bermacam-macam. Langkah-langkah untuk menyiapkan serbuk ini adalah sebagai berikut:

1. Memilih serbuk yang akan digunakan pada proses penelitian.
2. Membersihkan abu terbang batubara dari kotoran yang masih tercampur didalamnya.
3. Mengayak campuran bahan komposit untuk mendapatkan ukuran yang seragam pada bahan campuran komposit dengan ukuran 100  $\mu\text{m}$ ,
4. Menimbang masing-masing serbuk sesuai berat dan komposisi yang akan digunakan untuk spesimen.
5. Setelah semua serbuk selesai ditimbang sesuai komposisi pembuatan spesimen yang akan digunakan, berikutnya semua serbuk di campurkan.

### **b. Persiapan Pencampuran Serbuk Komposit**

Berikut adalah bahan-bahan serbuk yang akan dicampurkan, yaitu:

1. Matrik yang digunakan adalah resin *phenolic* yang berwarna hitam pekat dan berbentuk serbuk. Resin ini dipilih sebagai bahan komposit karena memiliki ketahanan temperature yang tinggi.
2. Bahan penguat yang digunakan adalah abu terbang batubara (*fly ash*) dan grafit.
3. Bahan pengisi dan juga berperan sebagai penyangga yang digunakan pada pembuatan komposit ini adalah barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ), dimana barium sulfat memiliki fungsi untuk meningkatkan ketahanan matrik

phenolic pada temperatur tinggi. Komposisi penyusun bahan komposit yang di gunakan dapat di lihat pada tabel 3.8

Tabel 3.8 Komposisi bahan penyusun komposit

Bahan penyusun komposit	Komposisi Komposit (%)		
	Kbs5%	Kbs10%	Kbs15%
Phenolic	65	60	55
Flyash	25	25	25
Grafit	5	5	5
Barium sulfat	5	10	15

### c. Pembuatan Spesimen Uji

Berikut adalah langkah-langkah yang akan dilakukan dalam proses pembuatan komposit, yaitu:

1. Mixing atau mencampurkan serbuk menjadi satu bagian dengan menggunakan *mixer* dengan jangka waktu 20 menit, agar mendapatkan campuran yang homogen. Berikutnya dilakukan proses pembuatan spesimen menggunakan cetakan yang akan digunakan.

#### 2. Proses *Pressing*

Kemudian setelah bahan komposit dicampurkan dalam cetakan cetakan langsung diletakkan pada dongkrak hidrolik dan kemudian di press dengan tekanan sebesar 60 MPa dengan waktu 15 menit.

### 3. Proses *Curing*

Setelah selesai pada proses penekanan maka langkah selanjutnya adalah proses *curing*, yaitu memanaskan spesimen komposit menggunakan *furnace* dengan temperatur 150° C selama 4 jam. Setelah selesai keluarkan spesimen lalu diamkan beberapa saat hingga spesimen dapat diampelas. Permukaan spesimen diampelas agar memiliki permukaan yang rata dan halus ketika saat diuji. Selanjutnya memberi label pada spesimen. Jumlah spesimen yang digunakan sebanyak 9 dengan masing-masing variasi memiliki 3 spesimen, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.9. Kbs15 merupakan komposit dengan komposisi barium sulfat sebesar 15%, Kbs10 merupakan komposit dengan komposisi barium sulfat 10%, Kbs5 merupakan komposit dengan komposisi barium sulfat 5%.

Tabel 3.9. Jumlah spesimen ketahanan aus.

Pengujian	Jumlah Spesimen Komposit		
Ketahanan Aus	Kbs 15	Kbs 10	Kbs 5
	3	3	3

#### d. Pengujian Keausan

Setelah selesai melalui semua proses pada sebelumnya, maka selanjutnya material dilakukan pengujian keausan menggunakan mesin uji *ogoshi* untuk mendapatkan nilai keausan dari masing-masing spesimen komposit. Tabel.3.10. merupakan format nilai hasil uji keausan yang akan diperoleh.

Tabel 3.10. Format hasil uji keausan

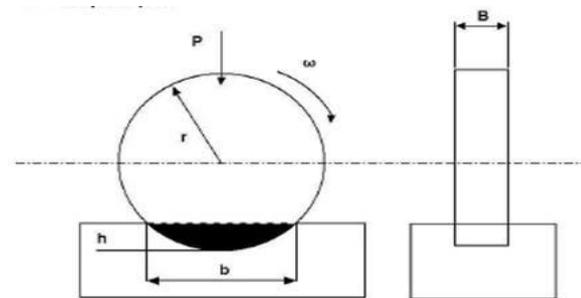
Kode Sampel	Lebar (b) [mm]	Tebal disk (B) [mm]	Dia meter (d) [mm]	Beban (P) [Kg]	Jarak Luncur (x) [m]	Kecepatan [m/s]	Spesifik Abrasi [mm <sup>3</sup> /mm]
Kbs15a							
Kbs10a							
Kg5a							
Rata-rata							
Kbs15b							
Kbs10b							
Kbs5b							
Rata-rata							
Kbs15c							
Kbs10c							
Kbs5c							
Rata-rata							

Sesuai dengan standar ASTM G99, pengujian ketahanan aus yaitu sebagai berikut :

Uji keausan mempunyai berbagai macam teknik dan metode, yang dimana semuanya memiliki tujuan mensimulasikan kondisi keausan aktual. Teknik atau metode yang dapat digunakan adalah metode *ogoshi*, dimana benda uji diberikan pembebanan gesek dari piringan yang berputar (*revolving disc*).

Pembebanan gesek ini menyebabkan kontak antar kedua permukaan yang dimana gesekan dari benda uji dan piringan yang berputar (*revolving disc*) berulang-ulang sehingga pada akhirnya sebagian material pada permukaan benda uji akan terkikis dan perlahan hilang akibat gesekan pada permukaan.

Spesimen benda uji akan meninggalkan jejak bekas gesekan pada permukaan yang telah tergesek tersebut sehingga jejak gesekan itulah yang akan dijadikan acuan tingkat keausan spesimen uji pada material. Semakin kecil jejak, maka ketahanan aus spesimen uji material tersebut akan semakin baik maka volume material yang terkelupas atau terkikis semakin sedikit, begitupun sebaliknya jika semakin besar jejak, maka ketahanan aus spesimen semakin kurang baik di karenakan mudahnya spesimen uji yang mudah terkelupas atau terkikis.



Gambar 3.12. Ilustrasi pengujian keausan (Herman, 2009)

Keterangan:

P : Beban

h : kedalaman bekas jejak

r : Jari-jari *revolving disc*

b : Lebar bekas jejak

B : Tebal *revolving disc*

$\omega$  : Kecepatan putar

x : jarak luncur

Maka dapat ditentukan besarnya volume material yang terabrasi (W):

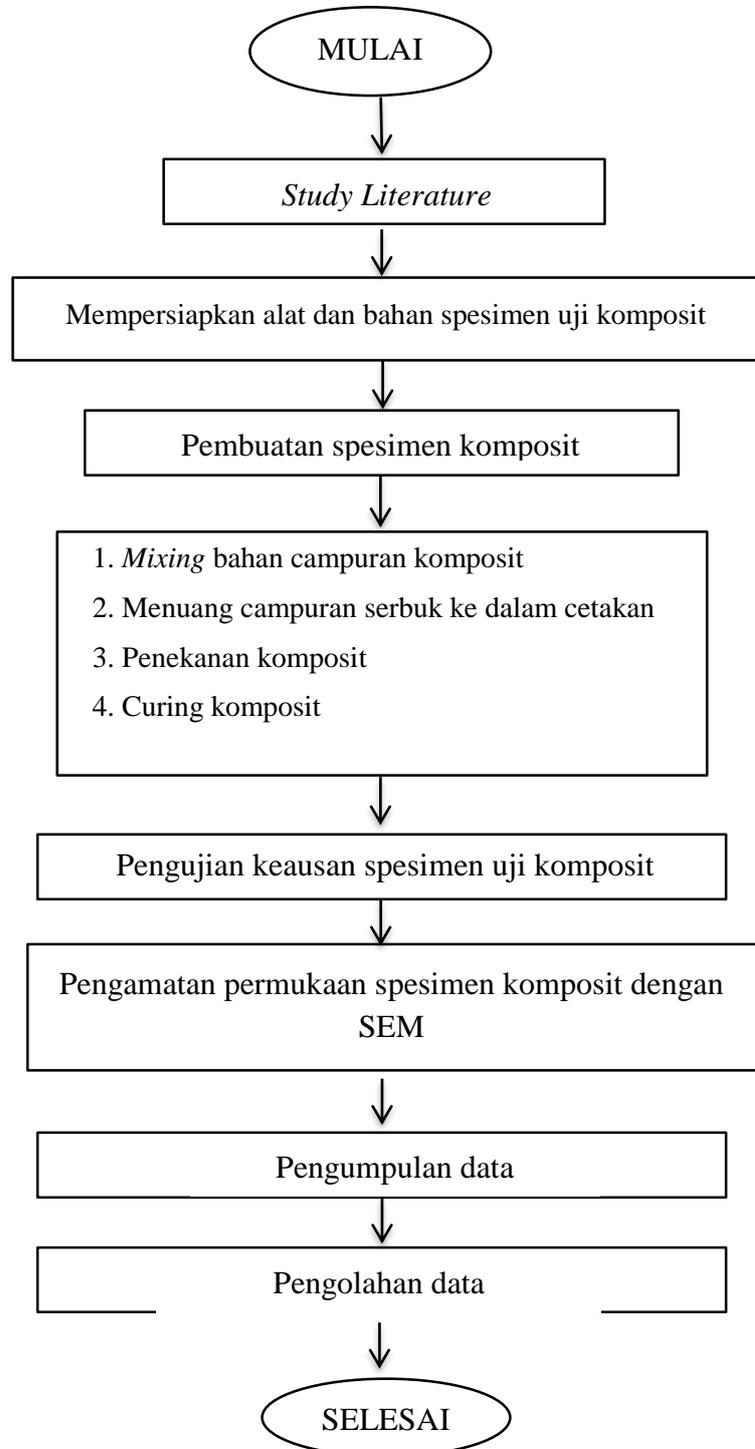
$$W = \frac{B.b^3}{12r} \dots\dots\dots(1)$$

Laju keausan (V) dapat ditentukan dengan perbandingan volume terabrasi (W) dengan jarak luncur x (pengaturan pada mesin uji) :

$$V = \frac{W}{x} \dots\dots\dots(2)$$

### 3.4 Alur Proses Penelitian

Gambar di bawah ini menunjukkan diagram alir yang akan dilakukan pada penelitian, sebagai berikut :



Gambar 3 .13. Diagram alir proses penelitian

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan data hasil dari pengujian keausan komposit *fly ash/ phenolic* dan juga hasil dari (*Scanning Electron Microscope*) adalah sebagai berikut :

1. Pada komposit berpenguat *fly ash* dengan variasi barium sulfat 15% memperoleh hasil rata-rata spesifik abrasi terendah yaitu  $8.03 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm. jadi pada variasi komposisi ini *phenolic* grafit dan barium sulfat sebagai matrix dapat mengikat seluruh *fly ash* sebagai penguat dengan sangat baik.
2. Pada komposit berpenguat *fly ash* dengan variasi komposisi barium sulfat 5% memperoleh hasil rata-rata spesifik abrasi yang tertinggi yaitu  $14.78 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm, Jadi pada variasi ini komposisi barium sulfat terlalu banyak sehingga menyebabkan spesimen komposit rapuh sehingga partikel komposit lebih mudah terkelupas saat menahan laju keausan.
3. Pada pengamatan foto SEM dapat dilihat pada spesimen komposit dengan variasi barium sulfat sebesar 5% permukaanya terlihat lebih kasar dan terdapat banyak grafit yang menggumpal (*agglomerate*) sehingga pendistribusian partikelnya kurang merata sehingga partikel-partikelnya lebih mudah terlepas jika menerima gesekan, hal ini yang menyebabkan nilai ketahanan aus yang dihasilkan kurang maksimal. Pada spesimen komposit variasi barium sulfat sebesar 15% terlihat lebih halus dan tidak banyak terlihat penggumpalan yang ini artinya barium sulfat sebagai pengisi dan *phenolic* sebagai pengikat *flyash* merata sehingga membuat ikatan antara

partikel terikat secara baik sehingga tidak mudah terkelupas saat mengalami gesekan.

## **B. Saran**

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan agar penelitian ini dapat dikembangkan lebih baik lagi adalah sebagai berikut :

1. Lebih ditingkatkan lagi alat-alat agar lebih memadai, contohnya seperti *Thermo controller* dan *heater* agar pada saat proses pemanasan komposit mendapatkan suhu yang diinginkan serta dapat memenuhi standar dan diperoleh komposit dengan hasil yang maksimal.
2. Pada semua proses pembuatan spesimen komposit harus dilakukan dengan cermat dan tepat, agar hasil yang diperoleh dalam pembuatan spesimen komposit dapat optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

AMA El-Butch, A. F. (2010). PENGARUH BARIUM SULFATE TERHADAP SIFAT FISIK,MEKANIK, TRIBOLOGIS DAN PERILAKU DINAMIS BRAKE. *ICSV17, Kairo, Mesir, 18-22 Juli 2010, 17*, 1-15.

Ari Trisianto Wibowo.2010.*Pengembangan dan Pembuatan Kampas Rem Kendaraan Bermotor Berbahan Dasar Komposit Serbuk Limbah Besi Cor, Serat Asbes dan Serbuk Limbah Plastik*.Universitas Indonesia.Jakarta.

Banu Sugozi,Behcet Daghan. 2016. Effect of BaSO<sub>4</sub> on Tribological Properties of Brake Friction Materials.*Journal International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol 5, ISSN : 2319-8753*

Bienias,J,walczak,M,Surowska,B dan Subczak.J.2003.*Microstructure and Corrosion Behavior of Alumunium Fly ash Composite*.*Journal Of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol 5, hal 493-502*.

Desi.2009.*Pemanfaatan serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Alternatif Serat Penguat Bahan Friksi Nonasbes pada Pembuatananvas Rem Sepeda Motor*.Skripsi Teknik Fisika.Universitas Negeri Semarang.Semarang.

Hartomo Amtom.1995.*Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*.Anas Offesct.Yogyakarta.

Ho Jang, Seong Jin Kim. Pengaruh barium sulfat dan Zirkonium silikat (ZrSiO<sub>4</sub>) pada bahan gesekan rem otomotif terhadap karakteristik gesekan. *Lain, pakai, 239(2), 229-236*.

Lingga.2016.*Ketahanan As Komposit Abu Terbang (Fly Ash) batubara/phenolic*. Universitas Lampung.Lampung.

Marinda Putri.2006.*Kumpulan Artikel Abu Terbang Batubara.*

<http://www.pu.go.id>

Mustan.2006.*Uji Kuat Tekan dan serapan Air pada Bata Beton Berlubang dengan Bahan Kapur dan Abu Layang.*Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.Semarang.

Nagesh S.N., C. Siddaraju, S.V.Prakash, and M.R. Ramesh,.2014.,  
Characterization of brake pads by variation in composition of friction materials, *Procedia Mat. Sci.* 5, pp. 295–302.

Pilato.2010.”*Phenolic Resin and Plastics*”.dalam Kirk Othmer Enchyclopdia of Chemical Technology Vol 15 Edisi 2. Mes Ya Publication Inc.

Pratama.20-11.*Analisa Sifat Material Komposit Bahan Kampas Rem dengan Penguat Fly ash Batubara.*Universitas Hasanuddin.Makasar.

Shirley, G. A. (2015). Pengaruh Grafit dan NBR pada Kekerasan Fly-ash / Fenolik Komposit untuk Aplikasi Kampas Rem. *Forum Sains Materi Vol. 827 (2015)*, 827, 371-374.

Sularso dan Suga Kiyokatsu.1997.*Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin.*PT. Pradnya Paramita.Jakarta.

Syahid.2011.*Analisa Sifat Mekanik Komposit Bahan Kampas Rem dengan Penguat Fly Ash batubara.*Universitas Hasanuddin.Makasar.

Upara N. 2019. “Analisis Komparasi Kualitas Produk Kampas Remcakram Antara Original Dengan After market”. *Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi Volume 1.1 p-issn 772655-186002 2019*

Yusman.2016.*Pengaruh Ukuran Fly Ash pada Kekuatan Bending Komposit Resin Epoxy.*Universitas Lampung.Lampung