

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL GRAFIT TERHADAP KETAHANAN  
AUS KOMPOSIT *FLY ASH/ PHENOLIC***

**(Skripsi)**

**Oleh**

***Muhammad Irvan Ramadhan***

**NPM 1515021073**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF GRAPHITE PARTICLE SIZE ON WEAR RESISTANCE OF FLY ASH/PHENOLIC COMPOSITES.

By  
MUHAMMAD IRVAN RAMADHAN

Composite is a material that can meet human needs in accordance with the desired material properties. Composite materials can be of various kinds, one of which is graphite which is commonly used for solid lubricants in composites. In this study, the manufacture of fly ash/phenolic brake lining composites with variations in graphite particle size was carried out to determine the effect of graphite particle size on composite wear. This study uses a variation of the graphite particle size of 56  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ . The fly ash/phenolic composite used is a particle composite with 25% fly ash as a reinforcement, 60% phenolic resin as a matrix, 10% barium sulfate as a filler, and 5% graphite as a solid lubricant. The process of making this composite using the hot pressing method with an emphasis of 60 MPa and a heating temperature of 200  $^{\circ}\text{C}$ , and curing at a temperature of 150  $^{\circ}\text{C}$  for 4 hours. In the fly ash/phenolic composite wear test, the graphite particle size of 150  $\mu\text{m}$  has the best wear resistance value with a specific abrasion value of  $7.69 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . the other composite materials are the same as in the SEM photo observations. The graphite particle size of 56  $\mu\text{m}$  got the lowest wear resistance value with a specific abrasion value of  $11.92 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , where in the SEM photo observations there were many lumps on the graphite particles so that they were not evenly distributed and the surface looked rough and resulted in reduced wear resistance values. fly ash/phenolic composites.

**Keywords: Composite particles, brake linings, graphite, fly ash/phenolic, hot pressing, wear, SEM.**

## ABSTRAK

### PENGARUH UKURAN PARTIKEL GRAFIT TERHADAP KETAHANAN AUS KOMPOSIT *FLY ASH/PHENOLIC*.

Oleh :

**MUHAMMAD IRVAN RAMADHAN**

Komposit merupakan material yang dapat memenuhi kebutuhan manusia sesuai dengan sifat material yang diinginkan. Bahan penyusun komposit dapat berbagai macam bahan yang salah satunya adalah grafit yang biasa digunakan untuk pelumas padat pada komposit. Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan komposit kanvas rem *fly ash/ phenolic* dengan variasi ukuran partikel grafit untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel grafit terhadap keausan komposit. Penelitian ini menggunakan variasi ukuran partikel grafit sebesar 56  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ . Komposit *fly ash/ phenolic* yang digunakan merupakan komposit partikel dengan bahan penyusun berupa *fly ash* 25% sebagai penguat, resin *phenolic* 60% sebagai pengikat, barium sulfat 10% sebagai pengisi, dan grafit 5% sebagai pelumas padat. Proses pembuatan komposit ini menggunakan metode *hot pressing* dengan penekanan sebesar 60 MPa dan temperatur pemanasan 200 °C, serta dilakukan *curing* dengan temperatur 150 °C selama 4 jam. Pada uji keausan komposit *fly ash/ phenolic*, ukuran partikel grafit sebesar 150  $\mu\text{m}$  memiliki nilai ketahanan aus terbaik dengan nilai spesifik abrasi  $7.69 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ ., kesesuaian ukuran partikel grafit yang membuatnya dapat terdistribusi secara merata dan dapat terikat dengan baik pada bahan penyusun komposit lainnya sama seperti pada pengamatan foto SEM. Ukuran partikel grafit 56  $\mu\text{m}$  mendapat nilai ketahanan aus terendah dengan nilai spesifik abrasi  $11.92 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , dimana pada pengamatan foto SEM banyak terdapat gumpalan pada partikel grafit sehingga tidak terdistribusi secara merata serta permukaannya yang terlihat kasar dan mengakibatkan berkurangnya nilai ketahanan aus komposit *fly ash/ phenolic*.

**Kata kunci:** Komposit partikel, kanvas rem, grafit, *fly ash/ phenolic*, *hot pressing*, keausan, SEM.

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL GRAFIT TERHADAP KETAHANAN  
AUS KOMPOSIT *FLY ASH/ PHENOLIC***

Oleh

***Muhammad Irvan Ramadhan***

**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**

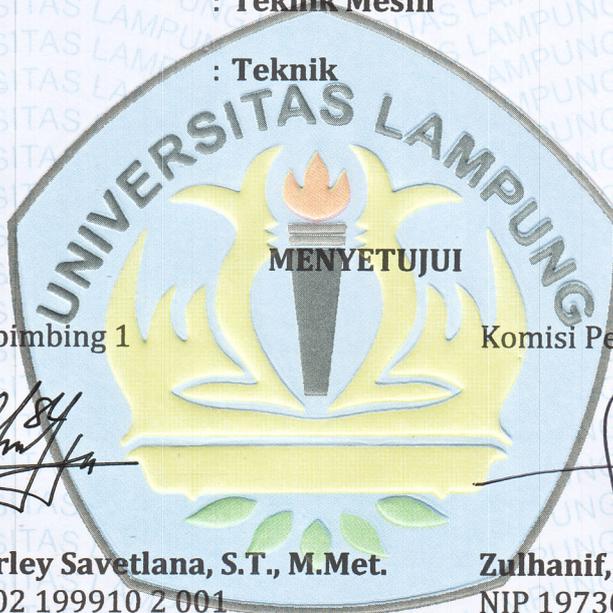
Judul Skripsi : **PENGARUH UKURAN PARTIKEL GRAFIT TERHADAP KETAHANAN AUS KOMPOSIT FLY ASH/ PHENOLIC**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Irvan Ramadhan**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1515021073**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

**Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.**  
NIP 19740202 199910 2 001

**Zulhanif, S.T., M.T.**  
NIP 19730402 200003 1 002

Ketua Jurusan  
Teknik Mesin

**Dr. Amrul, S.T., M.T.**  
NIP 19710331 199903 1 003

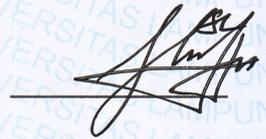
Kepala Program Studi  
S1 Teknik Mesin

**Novri Tanti, S.T., M.T.**  
NIP 19701104 199703 2 001

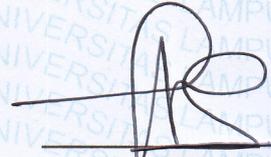
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

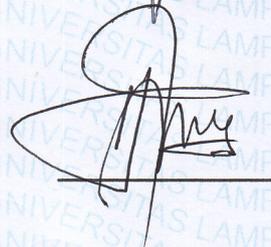
**Ketua : Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.**



**Anggota : Zulhanif, S.T., M.T.**



**Penguji Utama : Harnowo Supriadi S.T., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.**  
NIP 19620717 198703 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 September 2021**

## LEMBAR PERNYATAAN

Penulis dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi dengan judul Pengaruh Ukuran Partikel Grafit Terhadap Ketahanan Aus Komposit *fly ash/ phenolic* adalah karya pribadi dan tidak melakukan penjiplakan atas karya orang lain sebagaimana diatur dalam pasal 36 peraturan Rektor Universitas Lampung No. 13 Tahun 2019 tentang peraturan akademik Universitas Lampung.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah yang berkaitan dengan hal ini sepenuhnya diserahkan kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini apabila terjadi suatu hal yang tidak dibenarkan, penulis bersedia menanggung sanksi yang diberlakukan kepada penulis.

Bandar Lampung, 08 Oktober 2021

Pembuat Pernyataan



**Muhammad Irvan Ramadhan**  
NPM. 1515021073

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 29 Januari 1997. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara pasangan Bapak Agus Supriyono dan Ibu Nirmawati. Penulis menyelesaikan pendidikan taman kanak-kanak di TK Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2003. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2009, pendidikan menengah pertama di SMPN 22 Bandar Lampung pada tahun 2012, dan pendidikan menengah kejuruan di SMKN 2 Bandar Lampung pada tahun 2015. Penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung pada tahun 2015 melalui penerimaan jalur SBMPTN pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif di organisasi kemahasiswaan diantaranya, Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) di bidang Humas (Hubungan Masyarakat) sebagai anggota dan UKM-U Bulutangkis Universitas Lampung sebagai ketua umum pada tahun 2017. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata Tematik (KKN-Tematik) pada tahun 2019 di Desa Karang Umpu, Kecamatan Blambangan Umpu, Kabupaten Way Kanan. Penulis juga telah melaksanakan Program Kerja Praktik (KP) di PT. Bukit Asam Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan Bandar Lampung pada tahun 2018. Pada tahun 2020 Penulis melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Ukuran Partikel Grafit Terhadap Ketahanan Aus Komposit *Fly Ash/ Phenolic*” dibawah bimbingan Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met., dan Bapak Zulhanif S.T., M.T..

## MOTTO

“**Allah** tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al Baqarah:286)

“Barang siapa menempuh suatu jalan untuk menuntut ilmu, **Allah** akan memudahkan baginya jalan ke surga”

(H.R. Muslim)

“Engkau mengejar dunia, sedangkan dunia adalah hukuman bagi Nabi Adam A.S.”

(Imam Syafi'i)

“Tanpa impian kita tidak akan meraih apapun  
Tanpa cinta kita tidak akan merasakan apapun  
Tanpa **Allah** kita bukan siapa-siapa”

(Mesut Ozil)

*“Tak Penting Seberapa banyak kau jatuh yang terpenting adalah seberapa cepat kau bangkit”*

“Better late than never”

## SANWACANA

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb.*

*Alhamdulillah* *alhamdulillah* *alhamdulillah*, 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. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met., selaku Pembimbing I atas kesediaan serta yang telah banyak memberikan saran, arahan, motivasi, dan banyak pelajaran baru dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Zulhanif, S.T., M.T., selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu berdiskusi untuk kelancaran skripsi ini
5. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T., selaku Penguji, yang telah memberikan koreksi dan masukan untuk kelayakan skripsi ini.
6. Bapak M. Dyan Susila, S.T., M.Eng., selaku Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan masukan selama menempuh perkuliahan.
7. 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.
8. Kedua orang tuaku yang sangat kusayangi, Ibu Nirmawati dan Bapak Agus Supriyono yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan yang tak terbatas dan takkan terbalaskan, adik dan kakakku tersayang Putri Aulia Azzahra yang selalu menjadi motivasi bagiku, M. Agma Vhiellangga dan Alvindo Agma Falwa yang selalu memberikan motivasi.
9. Teman terkasihku Fitri Wulandari yang selalu sabar menemani, memberi dukungan, doa, dan kasih sayang.
10. Teman-teman seperjuangan "**TEKNIK MESIN 2015**" dan **HIMATEM** yang telah memberikan memori yang sangat indah atas kebersamaannya selama ini, Semoga kebersamaan yang telah kita lalui baik suka maupun duka akan

menjadi hal positif yang menuntun kita pada kesuksesan. “**SOLIDARITY M FOREVER**”.

11. Teman-teman terbaikku Arif Zul, Adam, Adit, Azka, Bagas, Dhuha, Didit, Dana, Dewa, Diandhana, Ekoy, Hasan, Hap, Ipul, Kentung, Om Helga, Vidi, Rido, Reka, Thomas, Teten, dan teman-teman Lab Komposit atas canda tawa bersama dan semangat dalam penyusunan skripsi ini.
12. Keluarga besar UKM-U Bulutangkis Universitas Lampung yang selalu menjadi terbaik terimakasih atas kebersamaan dan pengalaman yang takkan terlupakan.
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. Aamiiiiin.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Bandar Lampung, 8 Oktober 2021

Penulis,

**Muhammad Irvan Ramadhan**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN PENULIS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>viii</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>

### **I. PENDAHULUAN**

1.1. Latar belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	6
1.3. Batasan masalah .....	6
1.4. Sistematika penulisan.....	7

## II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit .....	9
2.2. Klasifikasi bahan komposit .....	10
2.3. Abu terbang ( <i>fly ash</i> ) batubara .....	20
2.4. Resin <i>phenolic</i> .....	24
2.5. Grafit .....	25
2.6. Kegagalan komposit .....	26
2.7. Keausan .....	26
2.8. Metode <i>ogoshi</i> .....	30
2.9. Pengamatan SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	32

## III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat penelitian .....	35
3.2. Alat dan bahan yang digunakan .....	35
3.3. Prosedur pembuatan dan pengujian spesimen uji komposit .....	43
3.4. Alur proses penelitian .....	50

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data hasil pengujian dan pembahasan .....	51
4.2. Hasil Uji SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	56

## V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan .....	60
5.2. Saran .....	61

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Komposit berdasarkan penguatnya .....	10
2.2. Parameter fiber dalam pembuatan.....	12
2.3. <i>Continues composite</i> .....	13
2.4. <i>Woven fiber composite</i> .....	14
2.5. <i>Chopped fiber composite</i> .....	14
2.6. <i>Hybrid fiber composite</i> .....	15
2.7. Ilustrasi komposit berdasarkan strukturnya .....	15
2.8. Mikrostruktur lamina .....	16
2.9. <i>Structural composite sandwich panels</i> .....	18
2.10. Ilustrasi skematis keausan <i>adhesive</i> .....	27
2.11. Ilustrasi skematik keausan abrasif.....	28
2.12. Ilustrasi skematis keausan lelah .....	29
2.13. Ilustrasi skematik keausan oksidasi .....	30
2.14. Ilustrasi pengujian keausan .....	31
2.15. Perbandingan hasil gambar mikroskop.....	32
2.16. Skema pengamatan SEM .....	34
3.1. Saringan ayakan .....	35
3.2. Cetakan spesimen uji .....	36
3.3. Timbangan digital .....	36
3.4. Mixer .....	37
3.5. Dongkrak hidrolik .....	37

3.6. <i>Furnace</i> .....	38
3.7. <i>Ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U</i> .....	39
3.8. Abu terbang batubara .....	40
3.9. <i>Phenolic</i> .....	41
3.10. Grafit .....	42
3.11. Barium sulfat.....	43
3.12. Ilustrasi pengujian keausan .....	48
3.13. Diagram alir proses penelitian .....	50
4.1. Grafik spesifik abrasi rata-rata spesimen komposit <i>fly ash/ phenolic</i> .....	52
4.2. Hasil foto SEM.....	56

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
2.1. Karakteristik kimia-fisika abu terbang batubara.....	21
3.1. Spesifikasi dongkrak hidrolik .....	38
3.2. Spesifikasi <i>furnace</i> .....	38
3.3. Spesifikasi mesin uji keausan <i>ogoshi</i> .....	39
3.4. Spesifikasi abu terbang batubara.....	40
3.5. Spesifikasi <i>phenolic</i> .....	41
3.6. Spesifikasi grafit .....	42
3.7. Spesifikasi barium sulfat .....	43
3.8. Komposisi bahan penyusun komposit.....	45
3.9. Jumlah spesimen ketahanan aus.....	46
3.10. Format hasil uji keausan .....	47
4.1. Data hasil pengujian keausan spesimen komposit <i>fly ash/ phenolic</i> .....	51

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Abu terbang atau *fly ash* adalah sisa dari hasil pembakaran batubara, yang merupakan limbah pembakaran dari industri-industri besar, seperti industri pada sektor pembangkit listrik. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat, penyerapan batubara untuk dalam negeri mengalami kenaikan di tiap tahunnya dan pada tahun 2018 pemakaian batubara mencapai 115 juta ton. Pada sektor kelistrikan ditahun 2014 pemanfaatan batubara di Indonesia berkisar 65,98 juta ton, pemanfaatan batubara tersebut terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2015 pemakaian batubara meningkat mencapai 70,80 juta ton, hingga di tahun 2018 batubara yang telah terpakai berkisar pada 91,14 juta ton (<https://www.esdm.go.id/>).

Dari hasil tersebut dapat dikatakan tiap tahunnya limbah dari pembakaran batubara terus meningkat. Hal ini yang mendorong manusia untuk memanfaatkan limbah dari pembakaran batubara tersebut. Dengan adanya teknologi dan akal kreatif manusia, banyak limbah-limbah yang dapat

dimanfaatkan oleh manusia, contohnya saja abu terbang batubara yang dapat dimanfaatkan menjadi *portland cement*, batu bata, beton ringan, material konstruksi jalan, material pekerjaan tanah, campuran *grouting*, stabilisasi tanah untuk konstruksi jalan, maupun stabilisasi tanah untuk tanah-tanah yang bermasalah di Indonesia (Wardani, 2008). Tidak hanya itu pemanfaatan limbah pembakaran batubara pun sekarang dapat dimanfaatkan sebagai bahan material komposit, seperti yang akan dilakukan pada tugas akhir kali ini.

Komposit adalah suatu struktur yang tersusun dari beberapa bahan pembentuk tunggal yang digabungkan menjadi suatu struktur yang baru dengan sifat mekanik, sifat fisik, dan sifat-sifat yang lain yang terbentuk pada komposit tersebut berbeda dari bahan pembentuknya (Hartono, 2016).

Secara garis besar komposit terbagi menjadi 3 berdasarkan penguat yang digunakannya, salah satunya yaitu komposit partikel. Komposit partikel merupakan komposit yang mengandung bahan penguat berbentuk partikel atau serbuk (Sulian, 2008). Sifat-sifat komposit partikel dipengaruhi beberapa faktor yaitu ukuran dan bentuk partikel, bahan partikel, rasio perbandingan antara partikel, dan jenis matrik. Keunggulan komposit polimer yang menggunakan partikel antara lain dapat meningkatkan sifat fisis material seperti kekuatan mekanis, dan modulus elastisitas, serta kekuatan komposit lebih homogen (Mahayatra, 2013).

Dikarenakan *fly ash* berbentuk butiran halus atau serbuk, maka proses pembentukan kompositnya ialah menggunakan metode metalurgi serbuk, dimana bahan-bahan pembentuk lainnya dicampur lalu dipadukan, yang kemudian dilakukan penekanan (*compacting*) dan disertai *sintering* untuk mendapatkan hasil material yang diinginkan (Hadrian, 2015).

Pada penelitian sebelumnya tentang pengaruh ukuran serbuk kuningan terhadap ketahanan aus, koefisien gesek, dan kekerasan kanvas rem, dengan masing-masing ukuran serbuk kuningan sebesar 30 mesh, 40 mesh, dan 50 mesh, diperoleh data pada ukuran serbuk 30 mesh nilai ketahanan ausnya sebesar 34,79 mm<sup>3</sup>/jam, kemudian pada ukuran serbuk 40 mesh diperoleh hasil ketahanan aus sebesar 32,12 mm<sup>3</sup>/jam, lalu pada ukuran serbuk 50 mesh diperoleh hasil ketahanan aus sebesar 29,44 mm<sup>3</sup>/jam. Hal ini terjadi dikarenakan serbuk yang lebih besar kerapatan yang dimilikinya kurang maksimal dan antara material serbuk dan penguat memiliki daya ikatan yang kurang baik, dan sebaliknya jika ukuran serbuk lebih kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran serbuk maka nilai ketahanan ausnya meningkat (Mubarrok, 2014).

Selanjutnya, pada penelitian Fathliansyah (2016) tentang pengaruh ukuran serbuk abu terbang batubara terhadap laju keausan komposit abu terbang batubara / *phenolic*, dengan ukuran serbuk sebesar 100 mesh, 150 mesh, dan 200 mesh, diperoleh nilai spesifik abrasi pada ukuran serbuk 100 mesh sebesar  $14,589 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , pada ukuran serbuk 150 mesh diperoleh nilai

spesifik abrasi sebesar  $19,987 \times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{mm}$ , kemudian pada ukuran 200 mesh diperoleh nilai sebesar  $12,782 \times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{mm}$ , dapat diambil kesimpulan bahwa ukuran serbuk dapat berpengaruh pada sifat mekanik suatu material, kecilnya ukuran serbuk batubara inilah yang membuat serbuk dapat mudah tersebar dan semakin mudah mengikat pada bahan lain dengan baik, serta mengisi rongga yang kosong pada komposit.

Pada penelitian yang dilaksanakan Siburian (2018) tentang pengaruh grafit terhadap kekerasan dan laju keausan bantalan luncur *connecting rod* yang disinter pada temperatur  $800^\circ\text{C}$ , dengan penambahan variasi grafit mulai dari 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa grafit memiliki sifat rapuh dan licin yang berpengaruh pada bertambahnya usia pemakaian bantalan. Hal itu dibuktikan dengan penurunan laju keausan pada bantalan akibat penambahan fraksi berat grafit, mulai dari 0,5% dan 1%. Namun penambahan grafit di atas 1% tidaklah efektif dikarenakan kekerasan menjadi menurun hingga laju keausannya menjadi lebih besar. Sehingga penambahan grafit 1% memiliki tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang lebih optimal.

Kemudian pada penelitian tentang studi eksperimental pengaruh variasi penambahan fraksi volume abu terbang (*fly ash*) terhadap nilai kekerasan dan nilai laju keausan aluminium *matrix composite*, dengan variasi komposisi abu terbang batubara sebesar 15%, 20%, 25%. Dari hasil pengujian diperoleh nilai keausan terendah terdapat pada komposisi abu terbang 15% sebesar

$1,768 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$  dan yang tertinggi pada campuran abu terbang 25% yaitu sebesar  $4,069 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar volume abu terbang batubara maka semakin besar keausan yang ditimbulkan pada komposit tersebut. Kenaikan laju keausan tersebut terjadi dikarenakan lepasnya partikel abu terbang dari matriksnya dan penguat yang terlepas dari matriks akan terperangkap dipermukaan gesek yang akan menimbulkan keausan yang baru (Wijaya, 2015).

Pada penelitian tentang ketahanan aus komposit abu terbang (*fly ash*) batubara / *phenolic*, dengan variasi komposisi abu terbang batubara 20%, 30%, 40% sebagai penguat, resin *phenolic* 50%, 60%, 70% sebagai matrik, dan  $\text{BaSO}_4$  10% sebagai bahan pengisi. Didapatkan hasil ketahanan aus terbaik pada komposisi 30% abu terbang sebesar  $0.81 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$  dan nilai ketahanan aus terendah pada komposisi 40% abu terbang sebesar  $2.57 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , itu dikarenakan spesimen pada kandungan 30% abu terbang, *phenolic* sebagai pengikat lebih merata pada abu terbang jika diamati dari foto SEM, sehingga abrasi yang terjadi pada uji keausan lebih kecil dibandingkan spesimen lain (Aditya, 2015).

Pada penelitian (Rao, 2010) Investigasi eksperimental untuk mempelajari kinerja pelumas padat dalam pembubutan baja AISI1040. Pelumas padat yang digunakan berupa grafit dan boric acid yang di campurkan dengan oli SAE40 dan variasi ukuran partikel grafit dan boric acid sebesar 50, 100, 150, 200  $\mu\text{m}$ . Pada ukuran partikel 50  $\mu\text{m}$  mendapatkan nilai koefisien gesek paling

rendah dengan nilai 0.48 pada kecepatan potong 60 m/min dan koefisien tertinggi pada ukuran partikel 200  $\mu\text{m}$  dengan nilai 0.51 dan juga keausan pada alat potong berkurang dengan kecepatan yang sama partikel 50  $\mu\text{m}$  mendapat nilai terbaik 0.18 mm sedangkan partikel 200  $\mu\text{m}$  dengan nilai terendah sebesar 0.25 mm, serta mendapat kekasaran permukaan yang paling halus setelah pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel pelumas padat dapat mempengaruhi kinerja pelumasan, ini disebabkan kecenderungan sifat adhesi yang tinggi pada partikel 50  $\mu\text{m}$  atau partikel yang lebih halus.

Berdasarkan beberapa uraian di atas, ukuran partikel dan komposisi dapat mempengaruhi nilai ketahanan aus komposit terutama pada grafit, ukuran partikelnya akan mempengaruhi pendistribusian pada komposit serta grafit sebagai pelumas padat dapat mengurangi nilai gesekan pada komposit dimana hal tersebut akan berpengaruh terhadap nilai keausan komposit. Penelitian kali ini akan membuat komposit kampas rem dengan variasi ukuran partikel grafit, dimana bahan pembentuknya terdiri dari beberapa material, diantaranya adalah *fly ash*, *phenolic*, barium sulfat, dan grafit. Belum ada penelitian lebih lanjut tentang itu, sehingga penulis tertarik untuk menelitinya dengan judul penelitian “pengaruh ukuran partikel grafit terhadap ketahanan aus pada komposit *fly ash / phenolic*”.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan pelaksanaan dan penulisan laporan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh ukuran partikel grafit terhadap ketahanan aus dari komposit berpenguat abu terbang (*fly ash*) dan bermatrik *phenolic* yaitu dengan uji abrasi.
2. Mengetahui morfologi, ikatan distribusi, dan mekanisme kegagalan yang terjadi pada komposit dengan foto SEM.

### **1.3. Batasan Masalah**

Adapun permasalahan yang dibahas pada penelitian ini dibatasi dalam beberapa hal sebagai berikut :

1. Komposit dibuat dengan campuran bahan material *fly ash* batubara, *phenolic*, grafit, dan barium sulfat.
2. Pengujian sifat mekanik komposit dengan uji keausan menggunakan metode ogoshi.
3. Ukuran partikel grafit 56 $\mu\text{m}$ , 100 $\mu\text{m}$ , 150 $\mu\text{m}$ .
4. Mengetahui permukaan spesimen dan mekanisme landasan komposit yang dilakukan dengan pengamatan SEM.

### **1.4. Sistematika Penulisan**

Pada penulisan Tugas Akhir ini tersusun menjadi lima bab. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

#### **I. PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memuat pembahasan tentang penelitian ini yang berlandaskan teori dari beberapa literatur. Dimana teori yang didapat dari beberapa literatur tentang penelitian ini dijadikan tuntunan untuk memecahkan masalah pada penelitian ini.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, diagram alur penelitian, penyiapan alat dan bahan spesimen uji, prosedur pembuatan spesimen uji, dan prosedur pengujian.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan data-data yang diperoleh dari penelitian dan pembahasan tentang studi kasus yang diteliti lalu dilakukan analisa sehingga mendapatkan hasil dari penelitian yang dilakukan.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan dan saran-saran yang disampaikan tentang studi kasus yang diambil.

## DAFTAR PUSTAKA

Memuat tentang referensi-referensi yang diperoleh penulis sebagai penunjang penyusunan laporan penelitian.

## LAMPIRAN

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Komposit

Komposit dapat didefinisikan sebagai gabungan dari dua atau lebih bahan yang diintegrasikan untuk membentuk material yang baru. Sebagian besar material komposit terdiri dari bahan pengisi atau penguat dan pengikat atau matrik yang terpilih untuk mendapatkan karakteristik dan sifat spesifik yang sesuai dengan yang diinginkan. Bahan-bahan pembentuk komposit cenderung tidak akan larut menjadi satu, melainkan tetap terpisah antar satu sama lain, dan secara keseluruhan komposit akan membentuk sifat dan karakteristik yang berbeda dari masing-masing bahan pembentuknya (Smith, 2011).

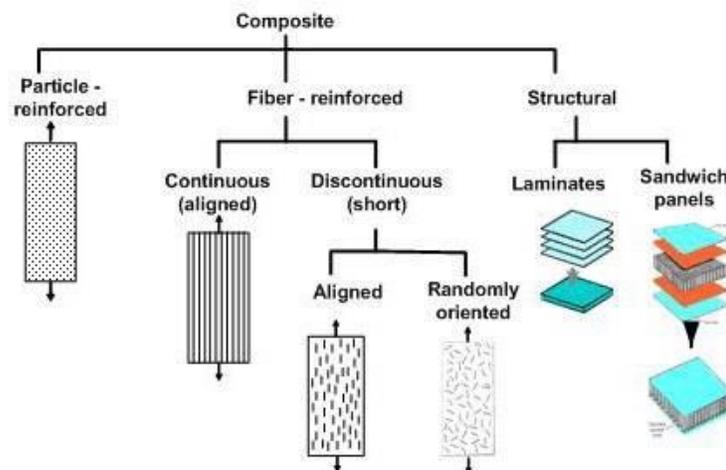
Bahan komposit dapat disesuaikan untuk berbagai macam properti sesuai kebutuhan dengan memilih bahan yang tepat, baik komponen, proporsi, distribusi, morfologi, tekstur kristografi, serta struktur dan komposisi antar komponennya, untuk mendapatkan material komposit yang terbaik sesuai dengan kebutuhannya. Karena kesesuaian tersebut, bahan komposit dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan teknologi terkait elektronik, konstruksi, energi, biomedis dan industri lainnya (Chung, 2009).

Bila dibandingkan dengan material lainnya material komposit memiliki beberapa keunggulan, salah satunya adalah penggabungan bahan-bahan yang terbaik dari tiap bahan pembentuknya. Sehingga diharapkan bahan dapat saling melengkapi kekurangan antara material penyusun pada hasil penggabungannya. Beberapa sifat yang dapat diperbaharui dari hasil penggabungan bahan tersebut contohnya yaitu kekuatan, kekakuan, ketahanan gesek, ketahanan aus, ketahanan korosi, densitas, konduktifitas panas, ketahanan lelah, dan lain-lain (Jones, 1975).

## 2.2. Klasifikasi Bahan Komposit

### A. Reinforcement

Salah satu bagian utama pada komposit yaitu *Reinforcement* (penguat) yang memiliki fungsi sebagai penopang beban utama pada komposit. Berdasarkan penguatnya komposit dapat dibedakan menjadi :



Gambar 2.1. Komposit berdasarkan penguatnya. (Ramatawa, 2008)

## 1. Komposit Partikel (*Particulate Composites*)

Komposit partikel adalah jenis komposit yang menggunakan penguat berbentuk serbuk dan dapat terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Komposit partikel mempunyai dimensi yang kurang lebih sama pada bahan penguatnya, seperti bulat serpih, balok, dan bentuk-bentuk lainnya disebut partikel, dan dapat terbuat oleh satu atau lebih material yang digabungkan dalam suatu matriks dengan material yang berbeda. Seperti halnya matriks, partikelnya bisa logam atau non logam. Berikut beberapa keuntungan yang diperoleh dari komposit partikel:

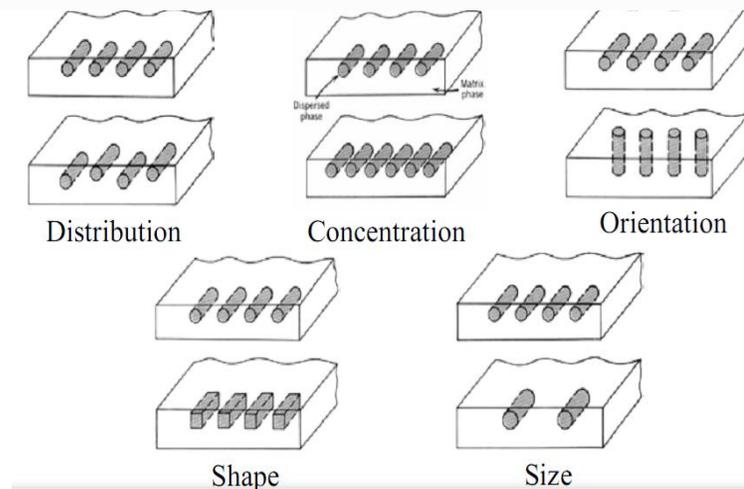
- a. Kekuatan lebih merata di segala arah.
- b. Dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan material.
- c. Partikel menghalangi pergerakan dislokasi untuk menguatkan dan mengeraskan komposit.

Pembuatan komposit partikel ialah dengan menggunakan teknik metalurgi serbuk. Metalurgi serbuk merupakan suatu teknik pembuatan bubuk logam atau non logam yang dilakukan dengan menekan cetakan yang berisikan bubuk sebelum dilakukan sinter di bawah titik cairnya.. Pada saat penyinteran hanya sebagian bubuk campuran yang dapat menyatu. Selanjutnya dilakukan penekanan panas, sehingga bubuk campuran dapat menyatu dengan lebih baik (Surdia, 1999).

## 2. Komposit Serat (*Fiber Composites*)

Fungsi dari serat ialah menopang kekuatan dari komposit, sehingga bila kekuatan komposit tinggi ataupun rendah sangat bergantung dengan serat yang digunakan, karena pada komposit tegangan awalnya terlebih dulu diterima oleh matrik lalu diteruskan kepada serat, sehingga beban maksimum akan ditahan oleh serat. Dengan demikian serat harus memiliki modulus elastisitas dan tegangan tarik lebih tinggi dibanding dengan matrik penyusunnya.

Penggunaan bahan komposit serat lemah terhadap pembebanan yang diberikan dalam arah tegak lurus dengan serat dan efisien jika menerima beban dan gaya yang dibebani searah serat (Hadi 2000).

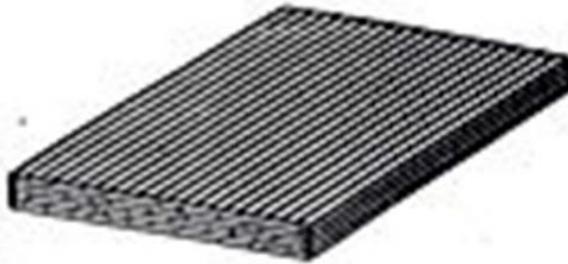


Gambar 2.2. Parameter fiber dalam pembuatan komposit.  
(Armanto, 2017)

Komposit jenis serat dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

a. *Continuous Fiber Composite*

*Continuous* atau dapat disebut *uni-directional* memiliki serat dengan susunan yang panjang dan lurus yang membentuk lamina diantara matriksnya, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekuatan lapisan yang lemah merupakan kekurangan pada jenis komposit ini. Hal tersebut terjadi akibat antar lapisan kekuatannya dipengaruhi oleh matriksnya.



Gambar 2.3. *Continuous fiber composite*. (Gibson, 1994)

b. *Woven Fiber Composite*

Komposit ini memiliki susunan serat yang mengikat antar lapisan, sehingga pemisahan antar lapisan tidak mudah terjadi. Akan tetapi kekuatan dan kekakuannya tidak sebaik tipe *continuous fiber*, akibat susunan serat memanjangnya tidak begitu lurus. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Woven fiber composite*. (Gibson, 1994)

c. *Chopped Fiber Composite*

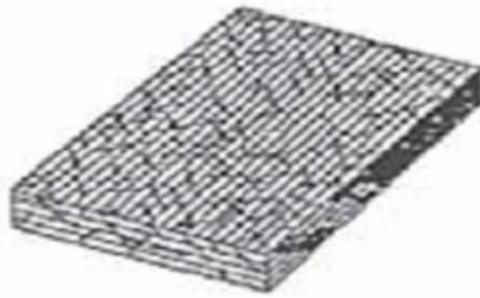
*Chopped fiber composite* adalah jenis komposit berupa serat pendek seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. *Chopped fiber composite*. (Gibson, 1994)

d. *Hybrid Fiber Composite*

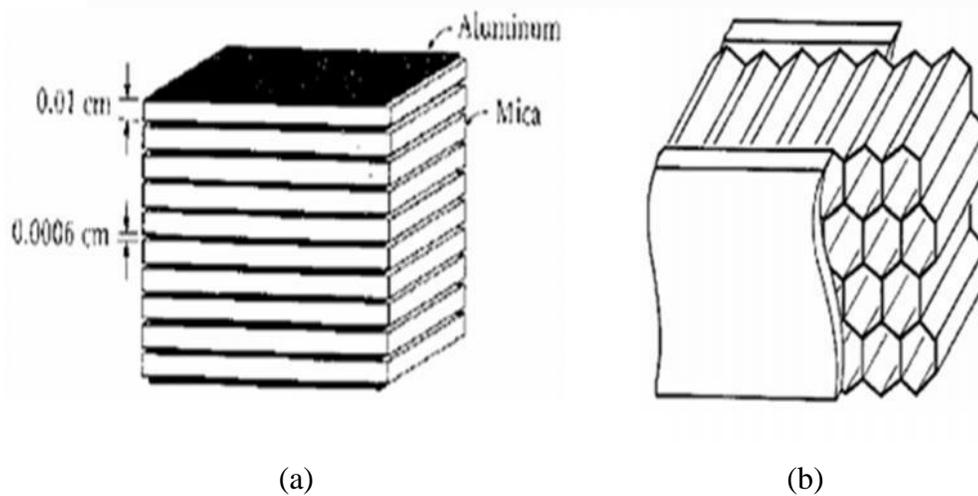
*Hybrid fiber composite* adalah komposit dengan jenis serat yang terdiri dari jenis serat acak dan serat lurus yang digabungkan, seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Pada tipe ini ditujukan agar dapat mengurangi kelemahan dari kedua tipe dan menggabungkan kelebihan yang dimilikinya.



Gambar 2.6. *Hybrid fiber composite*. (Gibson, 1994)

### 3. Fiber Sebagai Struktural (*Structute Composites*)

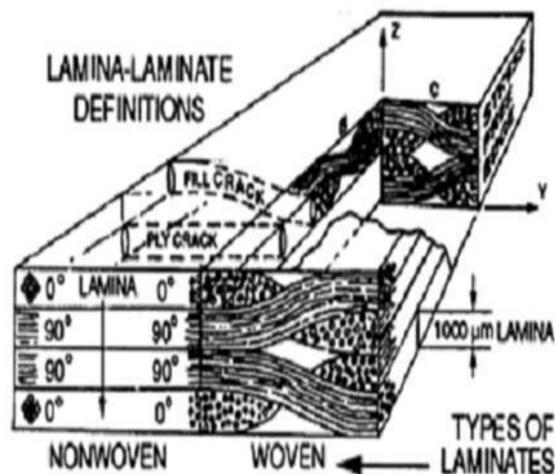
Komposit struktural adalah komposit yang terbentuk dari lembaran-lembaran penguat. Jenis komposit ini dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu struktur *laminata* struktur *sandwich*. Seperti pada gambar 2.8 yang menunjukkan ilustrasi komposit berdasarkan strukturnya.



Gambar 2.7. Ilustrasi komposit berdasarkan strukturnya: a). Strukur *laminata* dan b). *Sandwich panel*. (Gibson, 1994)

a. *Laminate*

*Laminate* adalah elemen struktur yang terbentuk secara integral yang merupakan gabungan dari dua atau lebih lamina (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) pada komposit. Proses *laminai* merupakan proses untuk membentuk *lamina* menjadi *laminate* dinamakan proses laminai. Lamina merupakan serat yang penguatnya searah (*unidirectional lamina*) dimana sebagai elemen sebuah struktur memiliki sifat yang buruk, sehingga tidak menguntungkan. Untuk itu struktur komposit dibuat dalam gabungan beberapa macam lamina atau lapisan lamina yang dibentuk dalam arah yang diinginkan dan membentuk *laminate* sebagai sebuah unit struktur. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8.

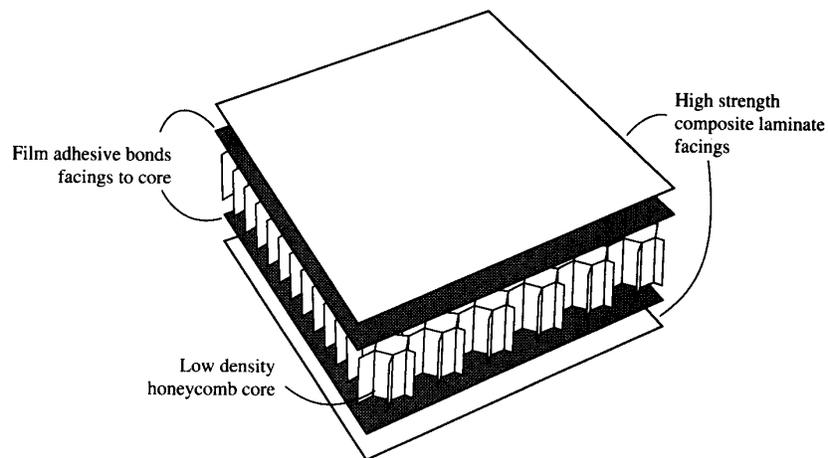


Gambar 2.8. Mikrostruktur lamina. (Widodo, 2008)

b. *Sandwich panel*

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai komposit struktur. Lapisan penyusun komposit *sandwich* dapat tersusun dari 3 lapisan yaitu material inti (*core*) yang berada di antara *flat composite (metal sheet)* dan kulit permukaan (*skin*). *Polyvinyl Chlorida (PVC)*, *honeycomb*, dan *polyuretan (PU)* merupakan *core* import yang sering digunakan untuk dijadikan *core* pada komposit *sandwich*. Efisiensi berat yang optimal, namun kuat serta kekakuan yang tinggi merupakan tujuan dari dibuatnya komposit *sandwich*. Dipasanganya *core* di tengah kedua *skin* berguna untuk menghasilkan karakteristik seperti yang diinginkan.

Komposit yang sangat baik untuk meredam getaran, suara serta menahan beban impak dan beban lentur yaitu komposit *sandwich*. Selain tahan terhadap panas, ringan, dan tahan korosi pemilihan bahan komposit *sandwich* harus mempertimbangkan harga. Dengan mempertimbangkan pemilihan bahan tersebut, komposit akan memiliki sifat yang ringan, kuat, serta kaku.



Gambar 2.9. *Structural composites sandwich panels* (Gibson,1994).

## B. Matriks

Berdasarkan matrik, komposit secara garis besar dapat dibagi ke dalam tiga kelompok yaitu:

### 1. Komposit Matrik Polimer (Polymer Matrix Composites–PMC)

Komposit matrik polimer adalah komposit yang dibentuk oleh bahan polimer sebagai matriknya. Jenis Komposit matrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian secara garis besar yaitu (Chung,2009):

#### a. *Thermoplastic*

*Thermoplastic* adalah plastik yang memiliki sifat *recycle* yang baik dimana dapat terus didaur ulang dengan dipanaskan. *Thermoplastic* adalah polimer yang apabila didinginkan akan menjadi keras.

*Thermoplastic* dapat meleleh pada suhu tertentu, lalu melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat *reversible* kepada sifat aslinya, yaitu apabila didinginkan akan kembali mengeras.

b. *Thermoset*

*Thermoset* bersifat *irreversible* yaitu jika terjadi perubahan suhu tidak akan mengikut. Bahan tidak akan dapat dilunakkan kembali apabila telah dilakukan pengerasan pada bahannya. *Thermoset* tidak akan melunak bila diberi pemanasan yang tinggi melainkan akan terurai dikarenakan sifat *thermoset* yang banyak digunakan sebagai tutup ketel. Pada proses daur ulang, plastik jenis *thermoset* tidak begitu layak digunakan dikarenakan sulit pengolahannya dan juga dibanding dengan jenis *thermoplastik* volume *thermoset* turun cukup tinggi (sekitar 10%).

## **2. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites – CMC*)**

CMC merupakan penggabungan material 2 fasa dimana 1 fasa sebagai reinforcement dan 1 fasa lagi sebagai matriks, dimana keramik menjadi bahan matriksnya. Pada umumnya *reinforcement* yang digunakan pada CMC ialah *carbide*, *nitrid*, dan *oksida*.

## **3. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites – MMC*)**

Komposit matrik logam adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matrik logam. Material MMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996.

Pada awalnya penelitian yang dilakukan yaitu *continuous filamen MMC* yang digunakan dalam aplikasi aerospace. Pemrosesan komposit logam-matriks cenderung memiliki biaya yang lebih mahal dibanding polimer-matriks dan membutuhkan suhu yang lebih tinggi. Pembuatan komposit logam-matriks sering melibatkan penggunaan perantara, yang disebut *preform*, dalam bentuk lembaran, kabel, atau silinder (Chung, 2009).

### **2.3. Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara**

Abu terbang batubara merupakan limbah yang terbentuk dari proses pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus. Limbah pembakaran batubara memerlukan pengelolaan yang harus diperhatikan. Sebab, endapan yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut cukup banyak dan apabila pengelolaan limbah tersebut tidak tepat, maka akan menimbulkan dampak pada lingkungan, seperti pencemaran udara, penurunan kualitas ekosistem, dan juga pada perairan ikut tercemar.

#### **A. Karakteristik Abu Terbang Batubara**

Abu terbang dapat disebut dengan *pozzolonic material*, yang berarti material abu terbang memiliki kandungan silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnesium oksida

(MgO), dan kalsium oksida (CaO) yang cukup besar. Sebagaimana hasil pengujian abu terbang oleh Haspiadi (2009) yang ditunjukkan pada tabel 2.1. berikut.

Tabel 2.1. Karakteristik kimia – fisika abu terbang batubara (Haspiadi,2009)

Parameter	Satuan	Hasil Uji
SiO <sub>2</sub>	%adbk	55,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%adbk	13,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%adbk	8,78
CaO	%adbk	14,76
MgO	%adbk	1,01
Na <sub>2</sub> O	%adbk	0,25
K <sub>2</sub> O	%adbk	1,17
MnO <sub>2</sub>	%adbk	0,16
TiO <sub>2</sub>	%adbk	1,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%adbk	0,27
SO <sub>3</sub>	%adbk	0,74
pH	-	7,08
Warna	-	Putih ke abu-
Berat Jenis	-	1,6
Ukuran Partikel	µm	≤ 75

Hasil uji komposisi kimia abu terbang yang digunakan pada penelitian ini memperoleh kandungan  $\text{SiO}_2$  sebesar 55,40%, cukup besar bila dibandingkan nilai rata-rata silika dioksida pada abu terbang dari batubara bituminous yaitu 52,00%. Kandungan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada abu terbang berada pada kisaran kandungan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  jenis abu terbang dari batubara bituminous. Meningkatnya silika dioksida dan alumunium oksida dalam abu terbang batubara dikarenakan adanya proses karbonisasi pada pembakaran batubara. Sehingga di beberapa industri semen abu terbang banyak digunakan sebagai sumber alumina dan silika dalam proses pembuatan semen. Kandungan silika dan alumina yang tinggi menyebabkan proses hidrasi yang terjadi antara agregat dan pasta semen membentuk *interface* yang lebih sempurna sehingga beton tidak mudah hancur.

Pada  $\text{K}_2\text{O}$  dan  $\text{Na}_2\text{O}$  kandungannya pun cukup tinggi, yang dapat mempengaruhi tingkat keplastisan yang artinya kemampuan untuk dibentuk tanpa mudah retak. Demikian pula kandungan  $\text{MgO}$ , dimana pada proses pembuatan semen dapat mempengaruhi penampakan campuran yang licin. Lalu pada kandungan  $\text{CaO}$  yang cukup tinggi berpengaruh sebagai campuran yang baik untuk pembuatan bata beton di daerah tanah yang asam.

Pada hasil uji sifat fisik, abu terbang memiliki warna, berat jenis, dan juga ukuran partikelnya. Abu terbang memiliki warna putih keabu-abuan dan memiliki berat jenis abu terbang sebesar 1,6, sedangkan untuk ukuran partikel abu terbang yang digunakan dalam penelitian memiliki ukuran rata-rata sebesar  $\leq 75 \mu\text{m}$  (Haspiadi, 2009).

## **B. Jenis-jenis Abu Terbang**

Penggolongan jenis abu terbang batubara dapat dilakukan dengan melihat kadar senyawa kimiawinya ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kadar karbon yang tinggi atau rendah, dan kadar CaO dengan kalsium tinggi ataupun rendah. Menurut ASTM C618 abu terbang digolongkan menjadi dua jenis yaitu :

### **1. Kelas F**

Abu terbang kelas F ini biasanya diproduksi dari pembakaran batubara anthracite (batubara keras yang mengkilat) atau bitumen-bitumen batubara yang memenuhi syarat. Memiliki sifat *pozzolanic* dan harus diberi penambahan *hydrated lime*, *quick lime*, atau *semen* agar mendapat sifat *cementitious*. Kandungan kapur pada kelas F terbilang rendah yaitu kurang dari 10%.

## 2. Kelas C

Abu batubara yang diproduksi dari batubara *sub-bituminous* atau *lignite* yang hanya memenuhi syaratlah yang dapat digunakan untuk kelas C ini seperti yang sudah disyaratkan. Abu batubara kelas ini, tidak hanya memiliki sifat *pozzolan* abu kelas C ini juga mempunyai sifat *self cementing* yaitu kemampuannya yang apabila bereaksi dengan air maka abu ini akan mengeras dan menambah *strength*, dan sifat tersebut terjadi tanpa adanya penambahan kapur. Biasanya beberapa abu batubara kelas C ini bisa mengandung kapur lebih dari 20% (Wardani, 2008).

### 2.4. Resin *Phenolic*

Resin *phenolic* merupakan material plastik pertama yang digunakan dalam industri. Fenolik merupakan jenis resin termoset yang dibentuk melalui reaksi fenol dan formaldehid yang ditemukan oleh L.H. Backeland pada tahun 1909. Fenolik merupakan material yang murah, memiliki sifat isolator panas dan listrik yang baik, dapat mudah di bentuk, dan biasanya hanya mempunyai dua warna yaitu hitam atau coklat. Resin fenol dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu *novolac* dan *resole*, dimana keduanya memiliki stabilitas suhu yang cukup tinggi yaitu sekitar 300° - 350° C. Resin fenolik banyak ditemukan pada berbagai produk contohnya adalah meja

laboratorium, beberapa bagian transmisi, papan sirkuit, dan lain-lain (Smith, 2011).

## 2.5. Grafit

Grafit adalah *native elements* dengan komposisi C (carbon). Sistem kristal grafit berbentuk hexagonal dengan jaringan lapisan teratur yang terdiri dari enam atom karbon terikat. Karbon terdapat berbagai bentuk menurut morfologinya yaitu pelumas padat, bubuk karbon aktif dan karbon yang terlihat bagaikan gelas hitam yang keras. Grafit secara kimia serupa dengan intan dikarenakan memiliki komposisi yang sama yaitu karbon, namun memiliki tingkat kekerasan yang rendah yaitu 1 – 2 (skala Mohs), berat jenis 2,23. Grafit tidak mudah terbakar, tidak mudah untuk larut dalam air, tidak berbau, dan tidak beracun.

Grafit dapat terbentuk dalam metamorphose tingkat tinggi oleh batuan yang terkandung zat organik di dalamnya. Grafit sering ditemui pada granit, gneis, batu gamping kristalin, sekis, dan mika sekis. Pemanfaatan grafit sering kita jumpai sebagai bahan pada pensil, alat penghantar listrik, bahan cat, dan permukaan tuangan yg fungsi sebagai bahan tahan api (sukandarrumidi, 1998).

## 2.6 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 keagalannya 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. Lepasnya serat dari matrik (*Fiber Pull-Out atau Debonding*).
4. Terlepasnya lamina dari laminate (*delimitation*).

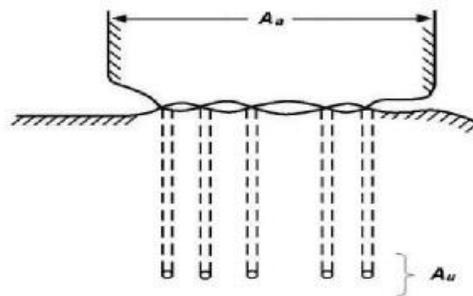
## 2.7. Keausan

Keausan pada umumnya dapat diartikan sebagai terlepas atau hilangnya material dari permukaan secara progresif akibat dari hasil pergerakan yang relatif yang terjadi antara satu permukaan dan permukaan yang lainnya yang menyebabkan deformasi plastis pada permukaan material. Perubahan bentuk pada material akibat terjadinya keausan dapat mengakibatkan penurunan kualitas dan ukuran material. Sehingga suatu komponen akan selalu diganti

atau diperbaiki jika mengalami keausan secara terus menerus. Keausan bukanlah sifat dari suatu material, melainkan akibat adanya respon dari material terhadap kontak antar permukaan. Material dapat mengalami keausan dengan berbagai macam mekanisme. Seperti yang telah dikatakan sebelumnya, keausan dapat dialami oleh material apapun dengan berbagai mekanisme yang bermacam-macam yaitu (Yuwono, 2009):

### A. Keausan *Adhesive*

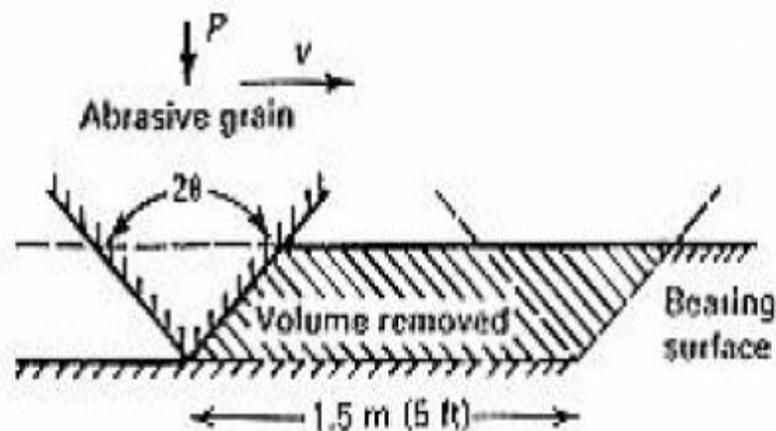
Terjadinya kontak antara dua permukaan antara material menyebabkan terjadinya perlekatan antar satu sama lain yang berakibat salah satu material terlepas. Mekanisme ini terjadi akibat adanya gaya saling tarik menarik antara logam. Karena adanya gerakan relatif maka terjadi perpatahan pada salah satu material yang lebih lemah dan geskan-gesekan selanjutnya antar dua permukaan maka permukaan yang lebih keras akan terpotong-potong akibat puncak-puncak kekerasan di sekitarnya yang mengakibatkan terbentuknya serpihan yang disebut keausan.



Gambar 2.10. Ilustrasi skematis keausan *adhesive*. (Yuwono, 2009)

## B. Keausan Abrasif

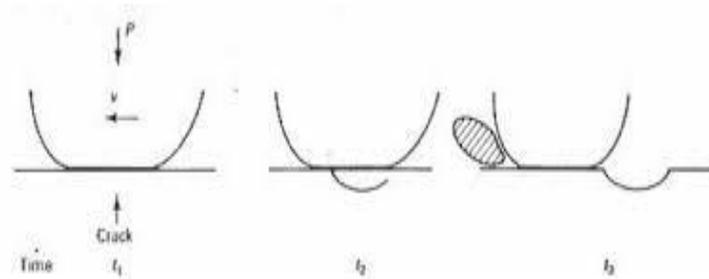
Keausan abrasif merupakan pemotongan atau penetrasi material yang terjadi akibat suatu partikel keras dari material tertentu meluncur ke permukaan material yang lebih lunak. Pada mekanisme ini, tingkat keausan ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras tersebut. Sebagai contoh ketika permukaan amplas akan diikat dengan partikel silika maka akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi, bila dibandingkan partikel tersebut berada di dalam sistem *slurry*. Kemungkinan pertama partikel akan tertarik sepanjang permukaan dan mengakibatkan pengausan dan pada kemungkinan selanjutnya partikel tersebut hanya berputar tanpa adanya efek abrasi, seperti yang terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Ilustrasi skematis keausan abrasif. (Yuwono, 2009)

### C. Keausan Lelah

Keausan lelah merupakan mekanisme yang berbeda dibanding dua mekanisme pada sebelumnya, yaitu terdapat pada hal interaksi permukaan. Pada keausan lelah dibutuhkan interaksi multi tidak seperti keausan abrasif maupun adesif yang hanya memiliki satu interaksi saja. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.14 menunjukkan skematis yang terjadi pada keausan lelah. Permukaan yang mengalami beban berulang akan membentuk retakan mikro ( $t_1$ ), kemudian retakan tersebut menyatu ( $t_2$ ), yang akhirnya terjadi pengelupasan material ( $t_3$ ). Tingkat pembebanan sangat mempengaruhi pada tingkat keausan.

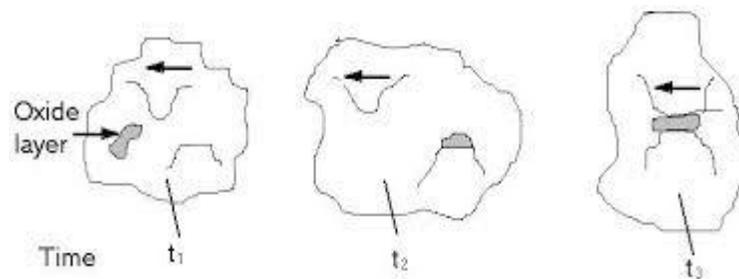


Gambar 2.12. Ilustrasi skematis keausan lelah. (Yuwono, 2009)

### D. Keausan Oksidasi

Keausan oksidasi sering juga disebut dengan keausan korosi. Mekanisme ini pada prinsipnya dimulai dengan terjadinya perubahan kimiawi material pada permukaan karena faktor lingkungan. Akibat adanya kontak dengan lingkungan maka akan menghasilkan pembentukan lapisan pada

permukaan yang memiliki sifat yang berbeda dengan material induknya. Sebagai dampaknya material di bagian permukaan akan mengalami keausan yang berbeda. Selanjutnya material akan mengalami patahan *interface* antara material induk dan lapisan permukaannya dan akhirnya lapisan permukaan seluruhnya akan tercabut. Pada gambar 2.15 menunjukkan skematis mekanisme keausan oksidasi atau korosi tersebut (Yuwono, 2009).

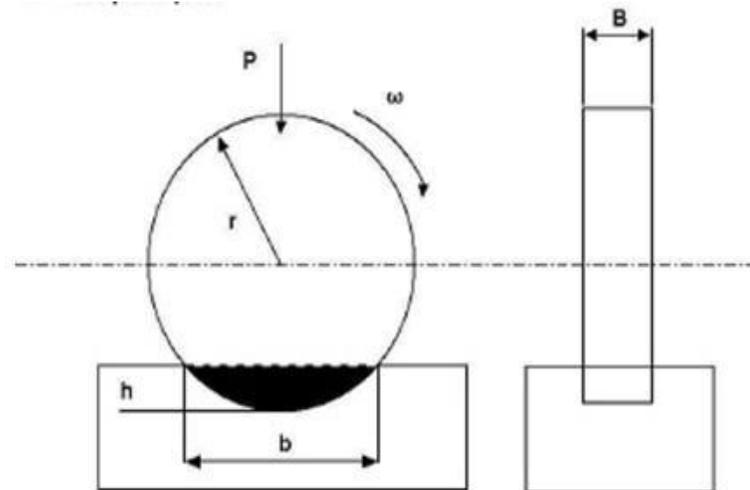


Gambar 2.13. Ilustrasi skematik keausan oksidasi. (Yuwono, 2009)

## 2.8. Metode Ogoshi

Metode ogoshi merupakan salah satu metode atau teknik uji keausan, dimana benda uji diberikan pembebanan gesek dari piringan yang berputar (*revolving disc*). Hal tersebut mengakibatkan kedua permukaan terjadi kontak yang berulang dan menyebabkan hilangnya sebagian material permukaan pada benda uji akibat mengalami gesekan. Benda uji akan meninggalkan jejak pada permukaan yang telah tergesek tersebut dan jejak gesekan itulah yang dijadikan acuan tingkat keausan pada material. Semakin kecil jejak, maka ketahanan aus material akan semakin baik maka volume material yang

terkelupas semakin sedikit, begitupun sebaliknya. Pada gambar 2.16. memperlihatkan ilustrasi skematik dari kontak permukaan antara benda uji dan *revolving disc* (Herman, 2009).



Gambar 2.14. Ilustrasi pengujian keausan. (Herman, 2009)

Dimana B yaitu ketebalan *revolving disc* (mm), b yaitu lebar celah material yang terabrasi (mm), dan r merupakan jari-jari *disc* (mm). Maka dapat ditentukan besarnya volume material yang terabrasi (W):

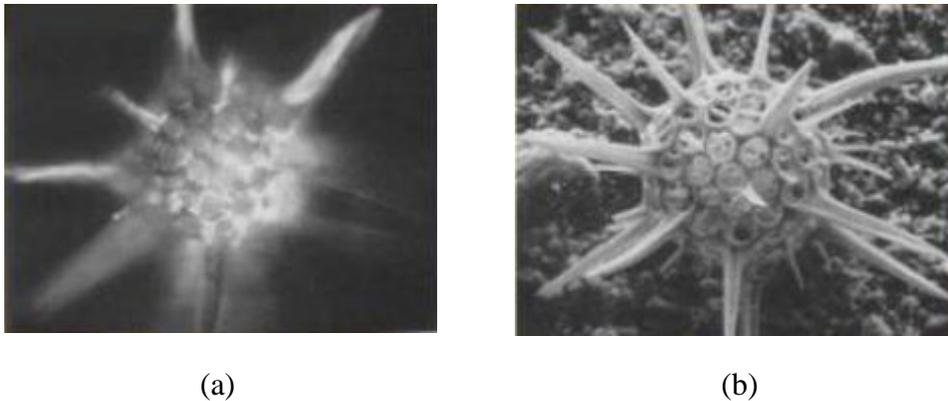
$$W = \frac{B \cdot b^3}{12r} \dots\dots\dots(1)$$

Perbandingan volume terabrasi (W) dengan jarak luncur x (pengaturan pada mesin uji) dapat menentukan nilai Laju keausan (V) :

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

### 2.9. Pengamatan SEM (*Scanning electron microscopy*)

Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Resolusi yang dapat dicapai oleh electron yaitu sebesar 0,1- 0,2 nm, sedangkan resolusi yang dapat dicapai chaya hanya sebesar 200 nm.. Pada gambar 2.15 dibawah ini akan diberikan perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan mikroskop elektron.



Gambar 2.15. Perbandingan hasil gambar (a) mikroskop cahaya  
(b) mikroskop electron (Guo, 2005).

Selain dengan kegunaan tersebut pada keperluan karakterisasi elektron juga mampu untuk mendapatkan beberapa jenis. Jenis pantulan yang dihasilkan jika benda dikenai oleh elektron yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis.

Terdapat beberapa komponen utama pada mikroskop elektron (SEM) antara lain;

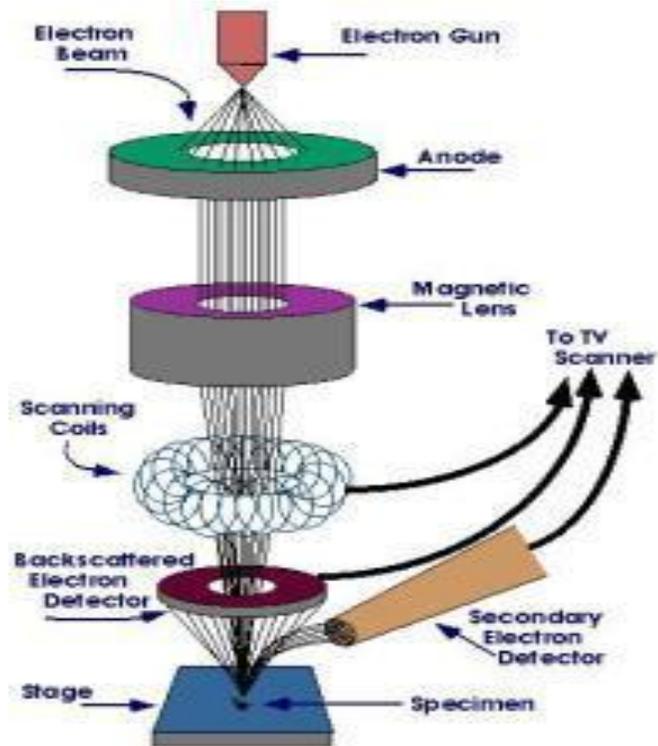
1. Pistol elektron, unsur yang dengan mudah dapat melepaskan elektron semacam tungsten merupakan filament yang dapat dijadikan pistol elektron.
2. Lensa untuk elektron, karena medan magnet dapat membelokkan elektron bermuatan negatif maka digunakan lensa magnetis.
3. Sistem vakum, Sangat penting untuk menghilangkan molekul udara karena pada saat elektron akan menuju sasaran dan ukurannya sangat kecil serta ringan elektron akan bertumbukan dengan molekul udara yang lain dan terpecah sebelum mengenai sasaran.

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut;

1. Pada pistol elektron akan menghasilkan sinar electron dan dibantu dengan anoda sehingga cahaya dipercepat.
2. Elektron yang akan menuju sampel akan difokuskan oleh lensa magnetis.
3. Koil pemindai mengarahkan sinar elektron agar terfokus pada pemindaian (*scan*) kesetiap bagian sampel.
4. Sampel akan menghasilkan elektron baru saat elektron sebelumnya mengenai sampel dan electron yang barupun akan terdeteksi oleh detector dan mengirimkannya ke monitor (CRT).

Berikut adalah skema secara lengkap SEM yang dapat dilihat pada gambar

2.16.



Gambar 2.16. Skema pengamatan SEM (<http://mse.iastate.edu/microscopy>).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Tempat Penelitian

Pembuatan spesimen kampas rem berbahan 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*) di laboratorium uji material kampus baru Universitas Indonesia Depok.

#### 3.2. Alat dan Bahan yang Digunakan

A. Alat yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut :

##### 1. Saringan Ayakan

Pada gambar 3.1 merupakan ayakan yang digunakan pada penelitian untuk mendapatkan ukuran mesh grafit dengan ukuran 56, 100, 150  $\mu\text{m}$ .



Gambar 3.1. Saringan ayakan

## 2. Cetakan

Pada gambar 3.2 cetakan yang digunakan pada penelitian ini berbentuk balok. Bahan cetakan ini dibuat menggunakan baja dengan kelas sedang



Gambar 3.2. Cetakan spesimen uji.

## 3. Timbangan Digital

Alat yang digunakan untuk menimbang bahan campuran komposit untuk menentukan komposisi massa yang sudah ditentukan seperti pada gambar 3.3. dengan tingkat ketelitian 1gr dan kapasitas beban 10 kg.



Gambar 3.3. Timbangan digital

#### 4. Mixer

Alat ini digunakan untuk mencampurkan komposisi bahan dari abu terbang batubara, *phenolic*, grafit, dan barium sulfat agar dapat tercampur secara merata. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4. Mixer Philips ini menggunakan daya motor sebesar 170 watt.



Gambar 3.4. Mixer

#### 5. Dongkrak Hidrolik

Dongkrak hidrolik digunakan sebagai alat press komposit yang terdapat pada cetakan agar spesimen komposit menjadi lebih padat sesuai dengan ketentuan. Berikut dongkrak hidrolik yang ditunjukkan 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

#### 6. Furnace

Alat yang digunakan untuk memanaskan spesimen komposit dengan waktu dan temperature yang ditentukan (proses *curing*). Alat yang digunakan terlihat seperti 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

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

Fungsi mesin ogoshi *high speed universal wear testing machine type OAT-U* adalah untuk menentukan laju keausan suatu material ketika benda uji memperoleh beban gesek dari *disc* yang berputar. Pembebanan gesek ini menyebabkan kontak antar kedua permukaan yang berulang-ulang dan pada akhirnya sebagian material pada permukaan benda uji akan hilang akibat gesekan pada permukaan. Besarnya jejak permukaan dari material dijadikan sebagai acuan pada tingkat keausan suatu material. Mesin yang digunakan seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



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

**B. Bahan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut :**

## 1. Abu terbang batubara

Bahan ini digunakan sebagai penguat pada bahan komposit dan juga sebagai bahan utama spesimen komposit seperti pada gambar 3.8.



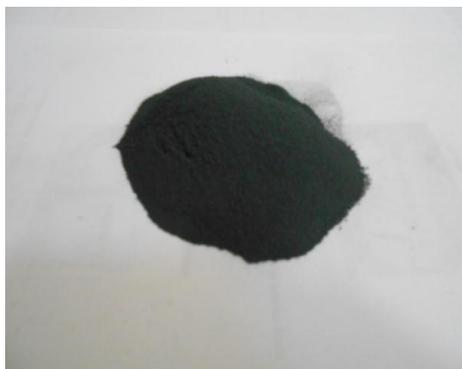
Gambar 3.8. Abu terbang batubara

Tabel 3.4. Spesifikasi abu terbang batubara

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

## 2. *Phenolic*

*Phenolic* resin yang digunakan sebagai matrik pada komposit seperti yang terlihat pada gambar 3.9 merupakan serbuk berwarna hitam yang memiliki ketahanan panas yang cukup baik. Resin ini mampu tahan pada temperatur tinggi hingga 300-350° 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
Temperature maksimum	300-350 °C

### 3. Grafit

Grafit merupakan bentuk kristalin karbon yang berbentuk serbuk dan berwarna hitam, grafit termasuk bahan *friction modifier*. Penambahan grafit bisa meningkatkan ketahanan aus dan juga dapat mempengaruhi koefisien gesek, seperti yang terlihat pada gambar 3.10.



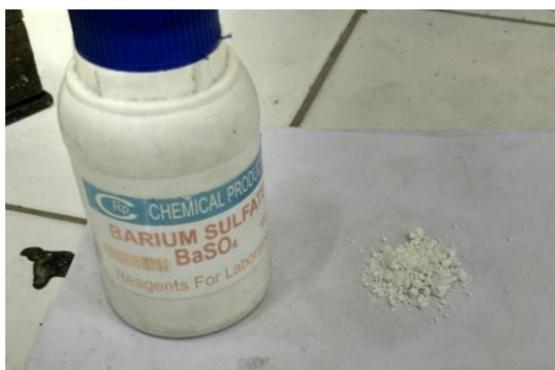
Gambar 3.10. Grafit

Tabel 3.6. Spesifikasi grafit

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

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

Barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) merupakan bahan yang dapat meningkatkan kerapatan massa dan dapat tahan pada temperatur tinggi dan juga dapat mengurangi tingkat keausan. Barium sulfat dalam bentuk serbuk berwarna putih seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Barium sulfat

Tabel 3.7. Spesifikasi barium sulfat

Nama, simbol	Barium sulfat $\text{BaSO}_4$
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 di dalamnya.
3. Mengayak serbuk grafit dengan ayakan menjadi ukuran 56  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ .
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 dicampurkan.

## 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 *phenolic* sebagai matrik berperan untuk mengikat antar bahan komposit dan dipilih sebagai komposisi komposit karna memiliki ketahanan temperatur yang tinggi. Komposisi *phenolic* yang digunakan sebanyak 60%.
2. Bahan penguat yang digunakan adalah abu terbang batubara. Dimana, bahan penguat berperan sebagai penopang beban utama pada komposit. Komposisi yang digunakan sebanyak 25%.
3. Bahan pengisi berperan sebagai pengisi rongga yang kosong pada komposit dan pada penelitian ini bahan pengisi yang digunakan adalah barium sulfat, dimana barium sulfat memiliki fungsi untuk meningkatkan ketahanan matrik *phenolic* pada temperatur tinggi. Komposisi barium sulfat yang digunakan sebanyak 10%.
4. Bahan pengisi lainnya yaitu grafit yang berperan sebagai pelumas padat yang dapat mengurangi koefisien gesekan terhadap komposit dan memiliki ketahanan temperatur yang tinggi. Komposisi grafit yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 5%. Komposisi yang digunakan pada penelitian komposit ini ditunjukkan pada tabel 3.8.

Tabel 3.8. Komposisi bahan penyusun komposit

Bahan Penyusun Komposit	Komposisi Komposit (%)
<i>Phenolic</i>	60
<i>Fly ash</i> , grafit	25
Barium sulfat	10
Grafit	5

### 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 proses pembuatan spesimen menggunakan cetakan yang akan digunakan.

#### 2. Proses *Pressing*

Selanjutnya, setelah bahan komposit selesai di *mixing* dan dimasukkan ke cetakan, bahan komposit pada 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. Kog56 merupakan komposit dengan ukuran partikel grafit sebesar 56  $\mu\text{m}$ , Kog100 merupakan komposit dengan variasi ukuran partikel grafit sebesar 100 $\mu\text{m}$ , dan Kog150 merupakan komposit dengan variasi ukuran partikel grafit sebesar 150 $\mu\text{m}$ .

Tabel 3.9. Jumlah spesimen ketahanan aus.

Pengujian	Jumlah Spesimen Komposit		
	Kog56	Kog100	Kog150
Ketahanan Aus	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.

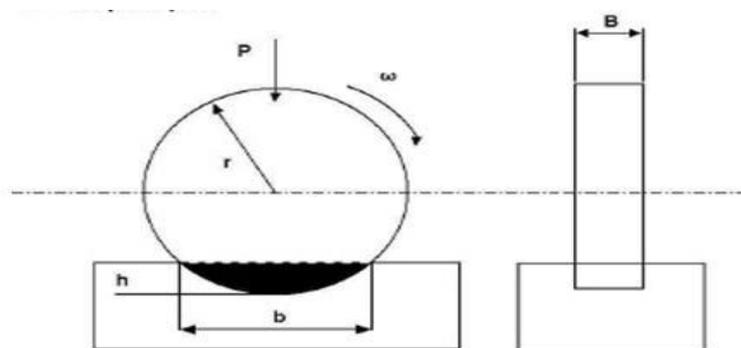
Tabel 3.10. Format hasil uji keausan

<b>Kode Sampel</b>	<b>Lebar (b) [mm]</b>	<b>Tebal disk (B) [mm]</b>	<b>Diameter (d) [mm]</b>	<b>Beban (P) [Kg]</b>	<b>Jarak Luncur (x) [m]</b>	<b>Kecepatan [m/s]</b>	<b>Spesifik Abrasi [mm<sup>3</sup>/mm]</b>
Kog56a							
Kog56b							
Kog56c							
Rata-rata							
Kog100a							
Kog100b							
Kog100c							
Rata-rata							
Kog150a							
Kog150b							
Kog150c							
Rata-rata							

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

Uji keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam teknik dan metode, dimana semuanya memiliki tujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satu 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 berulang-ulang dan pada akhirnya sebagian material pada permukaan benda uji akan hilang akibat gesekan pada permukaan. Benda uji akan meninggalkan jejak pada permukaan yang telah tergesek tersebut dan jejak gesekan itulah yang dijadikan acuan tingkat keausan pada material. Semakin kecil jejak, maka ketahanan aus material akan semakin baik maka volume material yang terkelupas semakin sedikit, begitupun sebaliknya.



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):

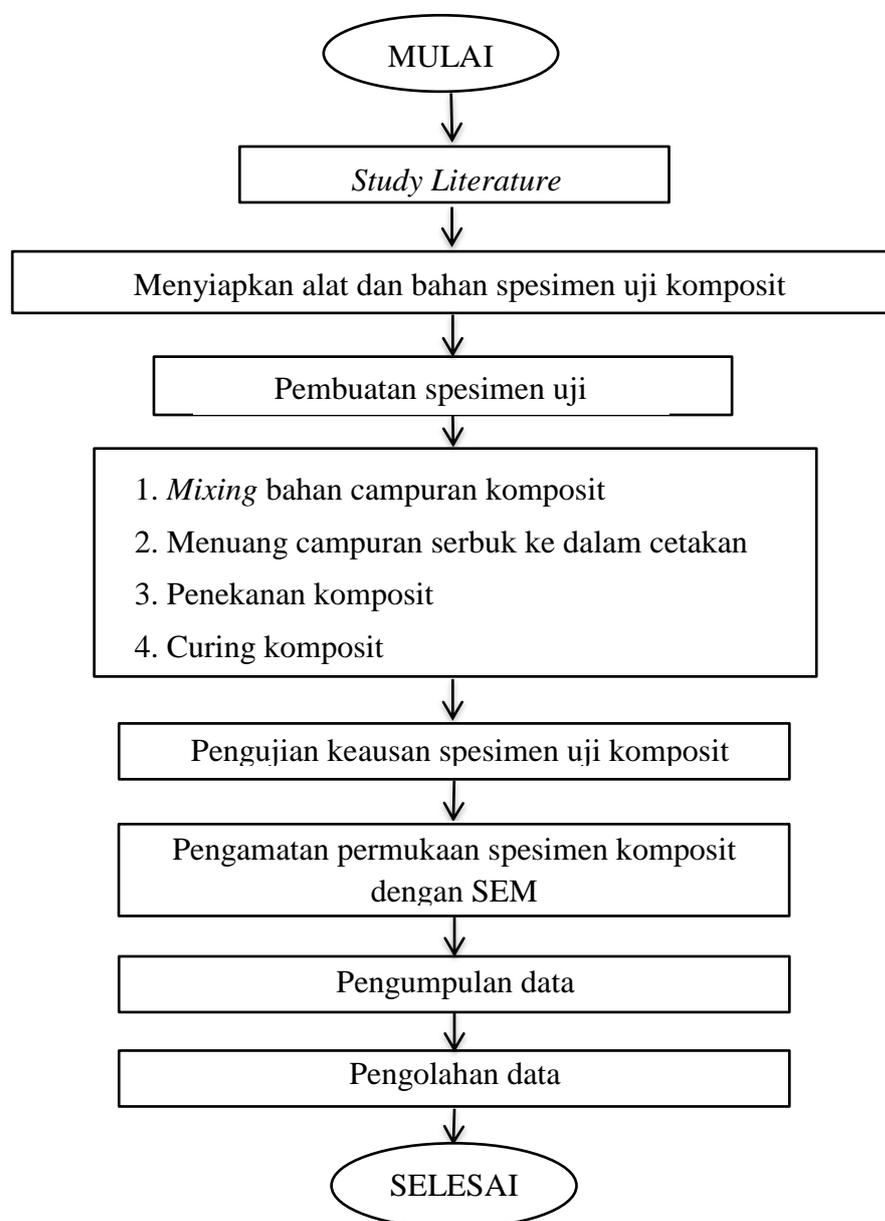
$$W = \frac{B \cdot b^3}{12r} \dots\dots\dots(1)$$

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

### 5.1. Simpulan

Adapun beberapa kesimpulan yang dapat penulis sampaikan berdasarkan data hasil pengujian keausan dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) komposit *fly ash/ phenolic* adalah sebagai berikut:

1. Pada uji keausan komposit *fly ash/ phenolic* diperoleh nilai rata-rata spesifik abrasi yang bervariasi, pada komposit dengan ukuran partikel grafit 56  $\mu\text{m}$  diperoleh nilai spesifik abrasi rata-rata sebesar  $11.92 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , pada ukuran partikel grafit 100  $\mu\text{m}$  diperoleh nilai rata-rata spesifik abrasi sebesar  $11.38 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , dan pada ukuran partikel grafit 150  $\mu\text{m}$  memiliki nilai rata-rata spesifik abrasi yang terbaik yaitu sebesar  $7.69 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ .
2. Ukuran partikel grafit sebesar 150  $\mu\text{m}$  memiliki nilai ketahanan aus terbaik pada penelitian kali ini, kesesuaian ukuran partikel grafit yang membuatnya dapat terdistribusi secara merata dan dapat terikat dengan baik pada bahan penyusun komposit lainnya.
3. Pada pengamatan foto SEM dapat dilihat pada spesimen komposit dengan ukuran partikel grafit sebesar 56  $\mu\text{m}$  permukaannya terlihat lebih kasar dan terdapat banyak grafit yang menggumpal (*agglomerate*) sehingga pendistribusian partikelnya kurang merata dan partikel-partikelnya lebih

mudah terlepas jika menerima gesekan, hal ini yang menyebabkan nilai ketahanan aus yang dihasilkan kurang maksimal.

4. Pada pengamatan foto SEM spesimen komposit dengan ukuran partikel grafit sebesar 150  $\mu\text{m}$  terlihat lebih halus dan tidak banyak terlihat penggumpalan pada partikel grafit sehingga pendistribusian partikelnya merata dan membuat ikatan antara partikel terikat secara baik. Kecocokan ukuran partikel grafit dengan partikel lainnya lah yang membuat tidak banyak terjadi penggumpalan pada partikel grafit dan meningkatnya nilai ketahanan aus spesimen komposit.

## **5.2. Saran**

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

1. Alat yang digunakan perlu ditingkatkan agar lebih memadai dalam proses pembuatan spesimen komposit, seperti alat hot pressing sehingga pada proses penekanan dan pemanasan dapat dilakukan bersamaan serta suhu dan besarnya tekanan dapat lebih akurat lagi agar pembuatan spesimen komposit dapat lebih maksimal hasilnya.
2. Pada semua proses pembuatan spesimen komposit harus dilakukan dengan cermat dan tepat, agar hasil yang diperoleh dalam pembuatan spesimen komposit dapat optimal.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada penelitian ini dengan mencoba variasi ukuran partikel pada bahan lainnya agar mendapat hasil yang lebih maksimal serta dapat diaplikasikan dalam dunia industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, Lingga. 2015. Ketahanan Aus Komposit Abu Terbang (Fly Ash) Batubara/ Phenolic. Universitas Lampung: Lampung.
- Chung, Deborah D. L. 2009. Composite Materials Science And Applications. Second Edition. Springer-Verlag : London.
- Fatliansyah, Muhammad. 2016. Pengaruh Ukuran Serbuk Abu Terbang Batubara Terhadap Laju Keausan Komposit Abu Terbang Batubara / Phenolic. Universitas Lampung : Lampung.
- Gatot, Bambang. 2019. Konsumsi Batubara Untuk Pembangkit Listrik Terus Meningkatkan. [www.esdm.go.id](http://www.esdm.go.id).
- Gibson, Ronald F. 1994. Principle Of Composite Material Mechanics. Mc Graw Hill, Inc: New York.
- Hadrian. 2015. Pengaruh Besar Tekanan Compacting Pada Silinder Serbuk Dulaium Powder Metallurgy Terhadap Kekerasan dan Porositas. Universitas Brawijaya: Malang.
- Hartono, dkk. 2016. Pengenalan Teknik Komposit, Deepublish Publisher: Yogyakarta.
- Herman akhmad, 2009. Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1. Universitas Indonesia, Depok.
- Jones. 1975. Mechanics Of Composite Material, Mc Graw Hill: Kogakusha.

- Mahayatra, I Gede. 2013. Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Marmer Statuari Terhadap Sifat Mekanik Komposit Partikel Marmer Statuari. Universitas Lampung: Lampung.
- Mubarok, Muh. Husni. 2014. Pengaruh Ukuran Serbuk Kuningan Terhadap Ketahanan Aus, Koefisien Gesek, dan Kekerasan Kampas Rem. Universitas Muhammadiyah: Surakarta.
- Rao, D.N. 2010. *Experimental investigation to study the performance of solid lubricants in turning of AISI1040 steel*. Mechanical Engineering Andhra University : India.
- Siburian, Sutoyo. 2018. Pengaruh Grafit Terhadap Kekerasan Dan Laju Keausan Bantalan Luncur Connecting Rod yang Disinter Pada Temperatur 800°C. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Smith, William F. 2011. Foundations Of Material Science And Engineering, Mc Graw Hill: New York
- Sukandarrumidi. 1998. Bahan Galian Industri. pp.30. Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.
- Sulian, Andri. 2008. Pengaruh Komposisi Matrik-Partikel dan Jenis Resin Terhadap Sifat Mekanik Komposit yang Diperkuat Serbuk Tempurung Kemiri. Universitas Lampung: Lampung.
- Surdia, Tata. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Wardani, Sri P.R. 2008. Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan, Universitas Diponegoro: Semarang.
- Widodo, B. 2008. Analisa Sifat Mekanik Komposit Epoksi dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) Model Lamina Berorientasi Sudut Acak (*Random*). Institut Teknologi Nasional Malang: Malang.

Wijaya, Hendra Dwi. 2015. Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Penambahan Fraksi Volume Abu Terbang (*Fly Ash*) Terhadap Nilai Kekerasan Dan Nilai Laju Keausan Aluminium *Matrix Composite*. Institut Teknik Sepuluh November: Surabaya.

Yuwono, Akhmad Herman. 2009. Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (*Destructive Testing*). Universitas Indonesia: Depok.