

**KETAHANAN AUS KOMPOSIT ABU TERBANG (*FLY ASH*)
BATUBARA / *PHENOLIC***

(Skripsi)

**Oleh :
LINGGA ADITYA YUONO**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

KETAHANAN AUS KOMPOSIT ABU TERBANG (*FLY ASH*) BATUBARA / *PHENOLIC*

Oleh :

LINGGA ADITYA YUONO

Abu terbang adalah partikel halus yang merupakan endapan dari sisa hasil proses pembakaran batubara. Limbah abu terbang dapat dimanfaatkan sebagai bahan komposit untuk kampas rem. Abu terbang terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), alumina oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3) yang berfungsi untuk meningkatkan ketahanan aus kampas rem. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui ketahanan aus dari komposit berpenguat abu terbang bermatrik *phenolic* dan mengidentifikasi kerusakan pada komposit dengan pengujian foto SEM.

Komposit yang digunakan adalah jenis partikel dengan perbandingan *phenolic* resin 50%, 60%, 70% sebagai matriks, *fly ash* 20%, 30%, 40% sebagai penguat, dan BaSO_4 10% sebagai bahan pengisi. Pembuatan spesimen dilakukan dengan mencampur bahan komposit selama 20 menit lalu mencetak sambil dipanaskan pada temperatur 250°C selama 40 menit, selanjutnya dipanaskan menggunakan *furnace* selama 4 jam dengan temperatur 150°C . Pengujian spesimen menggunakan pengujian ketahanan aus ASTM G99 dan pengamatan patahan dengan foto SEM (*scanning electron microscope*).

Hasil pengujian ketahanan aus permukaan bagian atas spesimen di peroleh hasil rata-rata yaitu 40% abu terbang $2.57 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$, 30% abu terbang $0.81 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ dan 20% abu terbang $1.02 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$. Pengujian ketahanan aus permukaan bagian bawah spesimen di peroleh hasil rata-rata yaitu 40% abu terbang $1.38 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$, 30% abu terbang $2.11 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ dan 20% abu terbang $1.24 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$. Kandungan 30% abu terbang 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 kandungan 40% abu terbang, *phenolic* sebagai pengikat kurang merata pada *abu terbang* yang mengakibatkan spesimen tidak begitu kuat untuk menahan abrasi pada uji keausan. Pengamatan foto SEM spesimen dengan spesifik abrasi terbaik pada kandungan 30% abu terbang bagian atas, *phenolic* sebagai pengikat lebih merata pada abu terbang sehingga abrasi yang terjadi pada uji keausan lebih kecil dibandingkan spesimen lain.

Kata Kunci : Komposit Partikel, *Phenolic*, abu terbang, spesifik abrasi, Kampas Rem

ABSTRAC

WEAR RESISTANCE OF COAL/PHENOLIC FLY ASH COMPOSITES

By :

LINGGA ADITYA YUONO

Fly ash is a fine particle deposition is the outcome of the rest of the coal combustion process. Waste of fly ash can be used as composite materials for brake canvas. Fly ash is composed of silicon dioxide (SiO_2), alumina oxide (Al_2O_3) and iron oxide (Fe_2O_3) which serves to enhance the wear resistance of the brake canvas. The purpose of this study to determine the wear resistance of fly ash phenolic matrix Composite and identify damage to composite testing SEM photograph.

Composites are used type of particles with phenolic resin ratio of 50%, 60%, 70% as a matrix, fly ash 20%, 30%, 40% as reinforcement, and BaSO_4 10% as a filler. Manufacture of specimens was performed by mixing the composite material for 20 minutes and then scored while heated at a temperature of 250°C for 40 minutes, further heated using the furnace for 4 hours at temperatures of 150°C . The test specimens using ASTM G99 testing wear resistance and fracture observation with SEM (scanning electron microscope).

Results of testing the wear resistance of the upper surface of the specimen obtained an average yield of 40% fly ash is $2.57 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$, 30% fly ash is $0.81 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ and 20% fly ash is $1.02 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$. Testing of wear resistance of the bottom surface of the specimen obtained an average yield of 40% fly ash is $1.38 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$, 30% fly ash is $2.11 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ and 20% fly ash is $1.24 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$. Fly ash content of 30% is the most optimal composition for the specific value of the lowest abrasion and equitable distribution of the particles so as to withstand the wear rate well. SEM observation of specimens with the highest value of wear and tear on the fly ash content of 40%, as a phenolic binder is less prevalent in fly ash resulting specimens are not so strong to resist abrasion wear test. SEM observation of specimens with the best abrasion on the specific content of 30% fly ash top, as a phenolic binder is more prevalent in the fly ash so that abrasion occurs in the wear test is smaller than the other specimens.

Keywords : Composite Particles, Phenolic, Fly ash, Specific abrasion, Brake canvas

**KETAHANAN AUS KOMPOSIT ABU TERBANG (*FLY ASH*)
BATUBARA / *PHENOLIC***

Oleh

LINGGA ADITYA YUONO

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2016

Judul Skripsi : **KETAHANAN AUS KOMPOSIT ABU TERBANG
(FLY ASH) BATUBARA / PHENOLIC**

Nama Mahasiswa : **Tingga Aditya Yuono**

Nomor Pokok Mahasiswa : **0915021036**

Jurusan : **Teknik Mesin**

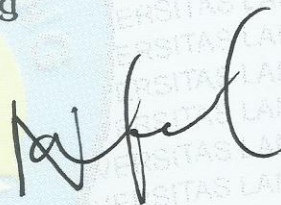
Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

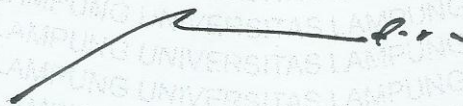


Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.
NIP 19740202 199910 2 001



Nafrizal, S.T., M.T.
NIP 19691106 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin



Ahmad Suudi, S.T., M.T.
NIP 19740816 200012 1 001

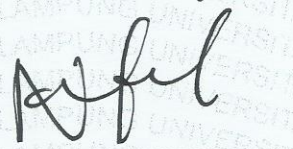
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Anggota Penguji : Nafrizal, S.T., M.T.



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



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 3 Maret 2016

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN
AKADAEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR NO.3187/H26/DT/2010.

Yang membuat pernyataan



Lingga Aditya Yuono
NPM. 0915021036

Riwayat Hidup



Penulis dilahirkan pada tanggal 29 Mei 1992 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara di Bandar Jaya, Kecamatan Terbanggibesar Lampung Tengah Provinsi Lampung, dilahirkan dari pasangan Sukaryono dan SusikHerlina.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Islam Terpadu (SDIT) InsanKamilPada tahun 2004, kemudian penulis menyelesaikan di Sekolah Menengah Pertama Islam Terpadu(SMP-IT) DaarulFikri pada tahun 2007. Pada tahun 2009 penulis menyelesaikan pendidikannya dari Sekolah Menengah AtasUnggulan (SMAU) DaarulFikri. Sejak tahun 2009 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) untuk periode 2011-2012, selanjutnya penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT.DI (Dirgantara Indonesia). Sejak tahun 2015 bulan Januari, penulis mulai melakukan penelitian tugas akhir (skripsi) dengan judul “**Ketahanan Aus Komposit Abu Terbang (*fly ash*) Batubara/Phenolic**”.Penulis mengerjakan skripsi dibawah bimbingan Ibu Dr. Eng Shirley Savetlana, S.T., M.Met. sebagai pembimbing utama dan Bapak Nafrizal, S.T., M.T. sebagai pembimbing kedua, serta Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. sebagai penguji utama.

MOTTO

Sesungguhnya Allah swt. Menyukai hamba yang berkarya dan terampil (ahli / professional). Barang siapa bersusah payah mencari nafkah untuk keluarganya, maka nilainya sama dengan seorang mujahid di jalan Allah swt. Hadits Nabi (HR. Ahmad)

Jadi diri sendiri, cari jati diri, dan hidup yang mandiri. Optimis, karena hidup terus mengalir dan kehidupan terus berputar, sesekali lihat ke belakang untuk melanjutkan perjalanan yang tiada berujung

Rahasi terbesar mencapai kesuksesan adalah tidaka ada rahasia besar, siapapun kita akan menjadi sukses jika kita berusaha dengan sungguh-sungguh

*** EAT FAILURE, AND YOU WILL KNOW THE TASTE OF SUCCES ***

*** DO THE BEST, BE THE BEST ***

SANWACANA

Assalamu'allaikum Warahmatullahi Wabarakatuh, segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan semesta alam, yang telah memberikan rahmat, nikmat, kesehatan karunia dan kelancaran hingga penulis dapat menyelesaikan Studi strata satu diperguruan tinggi Universitas Lampung. Shalawat beriring salam penulis panjatkan kepada kekasih Allah SWT, Baginda Rasullullah Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah ke zaman yang terang dengan keislamannya hingga saat ini.

Skripsi dengan judul "**KETAHANAN AUS KOMPOSIT ABU TERBANG (FLY ASH) BATUBARA/PHENOLIC**" ini dapat diselesaikan dengan baik atas bantuan, partisipasi, dan dukungan, serta do'a dari berbagai pihak. Sebagai rasa syukur penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orang tua tercinta, Ayah Sukaryono dan Ibu Susik Herlina, terimakasih atas do'a dan dukungannya dalam moril maupun materil serta semangat yang tidak kala henti selalu diberikan kepadaku.
2. Adikku Abi Yuwara Wimba B. dan Bagas Adi Lokanata yang selama ini selalu memberikan motivasi.
3. Kekasihku Ike Selvia yang tiada hentinya memberikan dukungan serta semangat dalam menyelesaikan tugas akhir.

4. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Bapak Ahmad Suudi, S.T.,M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung atas segala arahan dan motivasinya selama ini.
6. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T.,M.Met dan Bapak Nafrizal, S.T.,M.T. Selaku dosen pembimbing dengan memberikan pengetahuan, saran, serta nasehat selama proses penyelesaian skripsi.
7. Bapak Harnowo Supriyadi, S.T.,M.T. Selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan sebagai penyempurnaan penulisan skripsi.
8. 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.
9. Kepada teman-teman seperjuangan **“TEKNIK MESIN 2009”**, Muhammad irvan, Gunawan Efendi, Tri wibowo, , Lambok silalahi, Agus rantaujaya, Galeh kristianto, Ronal yaki, Wilson J pasaribu, Ari ardianto, Anisa rahman, Mei hartanto, Tunas dewantara, Erick ilham sanjaya, Andi saputra, Solihin, Budi santoso, Feny setiawan, Rizal ahmad fadil, Ardian prabowo, Dedi H siadari, Andreassa harianja, Iqbal deby, Mario sitorus, Deka alfianto, Topik nizamudin, Aditya eka pratama, Wili alfani, Muhammad todaro, Risky risdiono, Adi nuryansah.
“Solidrity Forever”
10. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung.

11. Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan, yang telah ikut serta membantu dalam penulisan skripsi ini.

“Tiada gading yang tak retak” begitu pula dengan penelitian tugas akhir ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih banyak kekurangan serta ketidaksempurnaan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 6 Maret 2016

Penulis,

Lingga Aditya Yuono

DAFTAR ISI

I.	PENDAHULUAN.....	1
	A. Latar Belakang	1
	B. Tujuan Penelitian	3
	C. Batasan Masalah	4
	D. Hipotesa	4
	E. Sistematika Penulisan	4
II.	TINJAUAN PUSTAKA	7
	A. Material Komposit	7
	1. Klasifikasi Bahan Komposit	8
	a. (komposit serat) <i>Fibre composites</i>	8
	b. Komposit partikel (<i>Particulate composites</i>)	10
	c. Komposit berlapis (<i>Laminated Composites</i>)	11
	d. Komposit struktural (<i>Structute composites</i>)	14
	B. Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) Batubara	14
	1. Karakteristik Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	15
	2. Sifat-sifat abu terbang (<i>Fly Ash</i>) batubara	18
	3. Pemanfaatan abu terbang (<i>Fly Ash</i>) batubara	20
	4. Dampak <i>Fly Ash</i> (abu terbang) di lingkungan	21

C. Sifat-Sifat Material Serat	23
1. Sifat Mekanik Material	24
D. Uji Keausan	25
E. Uji SEM (<i>Scanning electron microscopy</i>)	32
III. METODE PENELITIAN	35
A. Tempat Penelitian	35
B. Bahan yang Digunakan	35
C. Alat yang Digunakan	37
D. Prosedur Penelitian	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
A. Data Hasil Pengujian dan Pembahasan	48
B. Hasil Uji SEM	53
1. Hasil foto SEM spesimen Fa403	53
2. Hasil foto SEM spesimen Fa302	55
3. Hasil foto SEM partikel dari komposit kanvas rem	56
V. SIMPULAN DAN SARAN	57
A. Simpulan	57
B. Saran	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. <i>Continuous Fiber Composite</i>	9
Gambar 2. <i>Woven Fiber Composite</i>	9
Gambar.3. <i>Discontinuous Fiber Composite</i>	10
Gambar 4. <i>Hybrid fiber composite</i>	10
Gambar 5. <i>Particulate Composites</i>	11
Gambar 6. <i>Laminated Composites</i>	12
Gambar 7. Mikrostruktur lamina.....	13
Gambar 8. <i>Structural composites sandwich panels.</i>	14
Gambar 9. Metode keausan ogoshi	27
Gambar 10. Ilustrasi skema keausan adesif	28
Gambar 11. Keausan metode adesif	28
Gambar 12. Ilustrasi skema keausan abrasif	29
Gambar 13. Metode keausan abrasif	29

Gambar 14. Ilustrasi skema keausan lelah	31
Gambar 15. Keausan metode oksidasi	31
Gambar 16. Keausan metode erosi.....	32
Gambar 17. Perbandingan hasil gambar (a) mikroskop cahaya (b) mikroskop elektron	33
Gambar 18. Skema Uji SEM (<i>scanning electron microscopy</i>).....	34
Gambar 19. Abu terbang (<i>fly ash</i>)	35
Gambar 20. Matrik <i>phenolic</i>	36
Gambar 21. Barium Sulfat ($BaSO_4$).....	36
Gambar 22. Cetakan	37
Gambar 23. Timbangan digital	37
Gambar 24. <i>Mixer</i>	38
Gambar 25. Amplas	38
Gambar 26. Mesin Furnace	39
Gambar 27. Dongkrak hidrolik	39
Gambar 28. <i>Thermo controller</i> dan <i>heater</i>	40
Gambar 29. <i>Ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U...</i>	40
Gambar 30. Grafik rata-rata spesik abrasi hasil pengujian permukaan atas	49

Gambar 31. Grafik rata-rata spesik abrasi hasil pengujian permukaan bawah.....	52
Gambar 32. Hasil foto SEM specimen Fa403.....	54
Gambar 33. Hasil foto SEM specimen Fa403.....	55
Gambar 34. Hasil foto SEM partikel <i>fly ash</i> dengan pembesaran 2500x	56
Gambar 35. Hasil foto SEM partikel <i>phenolic</i> dengan pembesaran 2500x.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi kimia abu terbang batubara	19
Tabel 2. Waktu paparan <i>fly ash</i>	22
Tabel 3. Komposisi bahan penyusun komposit	43
Tabel 4. Jumlah spesimen yang akan diuji keausan.....	44
Tabel 5. Komposisi dan spesifik abrasi permukaan atas spesimen.....	48
Tabel 6. Komposisi dan spesifik permukaan bawah spesimen.....	51

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bahan komposit merupakan salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan untuk pembuatan kampas rem. Dalam perkembangan teknologi komposit mengalami kemajuan yang sangat pesat ini dikarenakan keistimewaan sifat yang *renewable* atau terbarukan dan juga rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi kekakuan, ketahanan terhadap korosi dan lain-lain, sehingga mengurangi konsumsi bahan kimia maupun gangguan lingkungan hidup.

Sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban/gaya/energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan tersebut. Seringkali bila suatu bahan komposit mempunyai sifat mekanik terhadap keausan yang kurang baik, maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan penambahan elemen penguat. Salah satunya adalah abu terbang batubara yang banyak dijumpai di pabrik-pabrik.

Abu terbang adalah salah satu bahan sisa dari pembakaran bahan bakar terutama batubara. Abu terbang ini tidak terpakai dan jika ditumpuk saja disuatu tempat dapat membawa pengaruh yang kurang baik bagi kelestarian lingkungan. Abu terbang ini, selain memenuhi kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat *pozzolom*, abu terbang juga memiliki sifat-sifat yang baik, seperti memiliki sifat-sifat fisik yang baik. Bentuk partikel abu terbang adalah

bulat dengan permukaan halus, dimana hal ini sangat baik untuk *workabilitas*. Oleh karena itu penulis mencoba untuk mengangkat masalah abu terbang ini menjadi bahan penguat pada kampas rem. (<http://komposit.co.id>).

Beberapa waktu yang lalu telah dilakukan sebuah penelitian di Universitas Hasanuddin oleh Muhammad Syahid (2011), mengenai analisa sifat mekanik komposit bahan kampas rem dengan penguat *fly ash* batubara. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa sifat mekanik komposit kampas rem dengan variasi komposisi *fly ash* batubara dan resin terhadap tingkat kekerasan tertinggi pada komposisi 60% resin dan 40% *fly ash* yaitu 94 HRB, laju keausan terendah pada komposisi 60% resin dan 40% fly ash adalah $2.02E-07$ gr/mm².detik sedangkan tingkat kelenturan paling baik pada komposisi 50% resin dan 50% fly sh nilainya 52,79 N/mm². (syahid, 2011).

Pada penelitian dengan judul karakteristik komposit karbon batubara/arang tempurung kelapa berukuran mesh 250 dengan matriks *coal tar pitch* dengan perbandingan komposisi abu terbang batubara dan arang tempurung kelapa yaitu : (80:20, 70:30, dan 60:40) berukuran mesh 250 dengan menggunakan metode *hot pressing* dengan beban 11 U.S ton pada temperatur 100° C selama 30 menit dan kemudian di karbonasi pada temperatur 500° C. Didapatkan hasil dari pengujian kekerasan, dimana nilai kekerasan meningkat dengan peningkatan fraksi massa dari arang tempurung kelapa. Nilai kekerasan tertinggi yaitu pada perbandingan karbon batubara dengan arang tempurung kelapa 60:40 dengan nilai kekerasan 56,44 BHN. Sedangkan pada

perbandingan 70:30 didapatkan hasil kekerasan 46,86 BHN. Dan pada perbandingan 80:20 dengan nilai kekerasan 44,58 BHN (Ardianto, 2011).

Pada tahun 2012 telah dilakukan penelitian di Universitas Lampung oleh Yusman (2012), mengenai pengaruh ukuran *fly ash* pada kekuatan bending komposit resin epoxy. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa nilai kekuatan bending komposit tertinggi terjadi pada ukuran partikel 120 mesh yaitu sebesar $59,26 \text{ N/mm}^2$ dan nilai bending komposit epoxy murni sebesar $98,15 \text{ N/mm}^2$. Semakin kecil ukuran butir *fly ash* pd komposit maka semakin meningkat kekuatan bending komposit tersebut, karena luas kontak permukaan antar butir semakin luas. (Yusman, 2012)

Dengan penguraian di atas dikarenakan belum ada yang menguji komposit abu terbang (*fly ash*) / *phenolic* terhadap beban gesekan maka penulis tertarik untuk meneliti tentang kekuatan ketahanan aus komposit berpenguat abu terbang dengan judul penelitian “Ketahanan aus komposit abu terbang (*Fly Ash*) batubara / *phenolic*”

B. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari pelaksanaan dan penulisan laporan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui nilai ketahanan aus dari komposit berpenguat abu terbang bermatrik *phenolic* yaitu dengan uji abrasi ASTM G99
2. Mengetahui kerusakan yang terjadi pada komposit berpenguat abu terbang (*fly ash*) dengan foto SEM.

C. Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi dalam beberapa hal sebagai berikut :

1. Pengujian sifat mekanik komposit kampas rem berpenguat abu terbang batubara dengan metode Ogoshi.
2. Volume fraksi komposit abu terbang batubara / *phenolic* (40:50), (30:60) dan (20:70)
3. Pengujian SEM untuk mengetahui kerusakan permukaan spesimen komposit *fly ash* setelah dilakukan uji keausan.

D. Hipotesa

Fly ash yang mengandung bahan seperti: silikat (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Dengan menggunakan *Phenolic* resin sebagai matrik, *Fly ash* sebagai penguat, dan barium sulfat (BaSO_4) sebagai bahan pengisi (*Filler*) diharapkan dapat meningkatkan nilai ketahanan aus dari kampas rem.

E. Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini disusun menjadi lima Bab. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

I . PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan tentang latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, hipotesa, serta sistematika penulisan laporan

II. KAJIAN PUSTAKA

Berisikan landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung pembahasan tentang studi kasus yang diambil, yaitu sifat-sifat mekanik serat ijuk dengan perlakuan alkali. Dasar teori ini dijadikan sebagai penuntun untuk memecahkan masalah yang berbentuk uraian kualitatif atau model matematis.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan metode yang digunakan penulis dalam pelaksanaan penelitian yaitu tentang diagram alur penelitian, penyiapan spesimen uji, pembuatan spesimen uji, serta pengujian mekanis serat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan data-data yang diperlukan dan pembahasan tentang studi kasus yang diteliti yaitu pengujian komposisi kimia serat ijuk, uji tarik statis, dan struktur serat dengan *Mikroskop Optik* kemudian dianalisa.

V . SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari data yang diperoleh dan pembahasan dari penulis tentang studi kasus yang diambil.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan literatur-literatur atau referensi-referensi yang diperoleh penulis untuk menunjang penyusunan laporan penelitian

LAMPIRAN

Berisikan beberapa hal yang mendukung penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Komposit

Material komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent*. Menurut Handoyo Kus (2008). dalam prakteknya komposit terdiri dari suatu bahan utama (matrik) dan suatu jenis bahan penguat (*reinforcement*) yang ditambah untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan matrik. Penguatan ini biasanya dalam bentuk serat (*fibre, fiber*).

Material komposit terdiri dari lebih satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi dan ketahanan aus. (Smallman & Bishop, 2000).

1. Klasifikasi Bahan Komposit

Bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu komposit partikel (*particulate composite*) dan komposit serat (*fibre composite*). Bahan

komposit partikel terdiri dari partikel yang diikat matrik. Komposit serat ada dua macam, yaitu serat panjang (*continuous fibre*) dan serat pendek (*short fibre* atau *whisker*).

Klasifikasi komposit serat (*fiber-matrix composites*) dibedakan menjadi ;

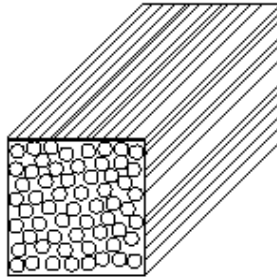
a. (komposit serat) *Fibre composites*

Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lapisan (lamina) yang menggunakan penguat berupa serat. Serat yang digunakan dapat berupa serat gelas, serat karbon, dan lain sebagainya. Serat ini disusun secara acak maupun secara orientasi tertunda bahkan dapat juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

Serat merupakan material yang mempunyai perbandingan panjang terhadap diameter sangat tinggi serta diameternya berukuran mendekati Kristal. Serat juga mempunyai kekuatan dan kekakuan terhadap densitas yang besar. Komposit yang diperkuat oleh serat dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu:

1). *Continuous Fiber Composite*

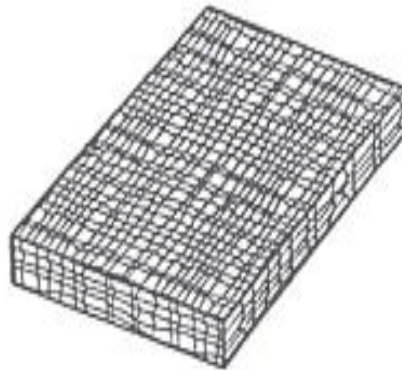
Continuous atau *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.



Gambar 1. *Continuous Fiber Composite*. (Gibson, 1994)

2). *Woven Fiber Composite (bi-directional)*

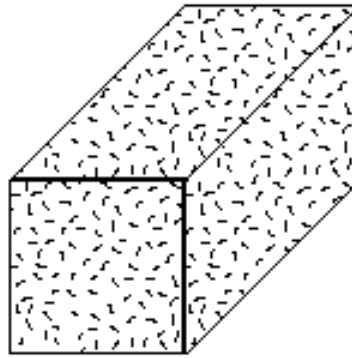
Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continuous fiber*.



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

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

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



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

4). *Hybrid fiber composite*

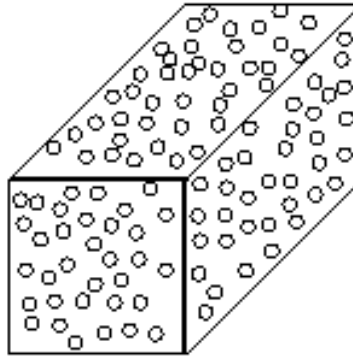
Hybrid fiber composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak.



Gambar 4. *Hybrid fiber composite*. (Gibson, 1994)

b. Komposit partikel (*Particulate composites*)

Merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya

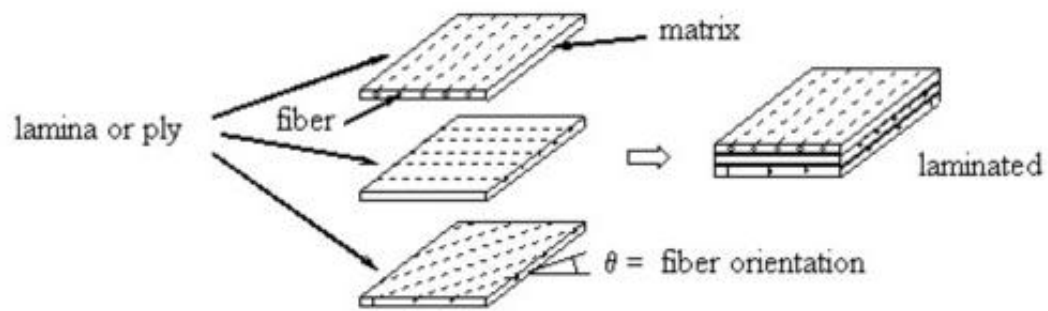


Gambar 5. *Particulate Composites*

Komposit ini biasanya mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, balok, serta bentuk-bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama yang disebut partikel, dan bisa terbuat dari satu atau lebih material yang dinamakan dalam suatu matriks dengan material yang berbeda. Partikelnya bisa logam atau non logam, seperti halnya matriks. Selain itu adapula polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat.

c. Komposit berlapis (*Laminated Composites*)

Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.



Gambar 6. *Laminated Composites*

Komposit ini terdiri dari bermacam-macam lapisan material dalam satu matrik. Bentuk nyata dari komposit lamina adalah :

1). Bimetal

Bimetal adalah lapisan dari dua buah logam yang mempunyai koefisien ekspansi thermal yang berbeda. Bimetal akan melengkung dengan seiring berubahnya suhu sesuai dengan perancangan, sehingga jenis ini sangat cocok untuk alat ukur suhu.

2). Pelapisan logam

Pelapisan logam yang satu dengan yang lain dilakukan untuk mendapatkan sifat terbaik dari keduanya.

3). Kaca yang dilapisi

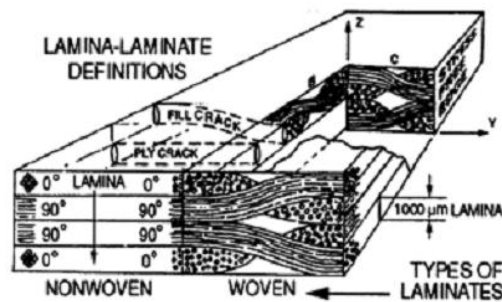
Konsep ini sama dengan pelapisan logam. Kaca yang dilapisi akan lebih tahan terhadap cuaca.

4). Komposit lapis serat

Dalam hal ini lapisan dibentuk dari komposit serat dan disusun dalam berbagai orientasi serat. Komposit jenis ini biasa digunakan untuk panel sayap pesawat dan badan pesawat.

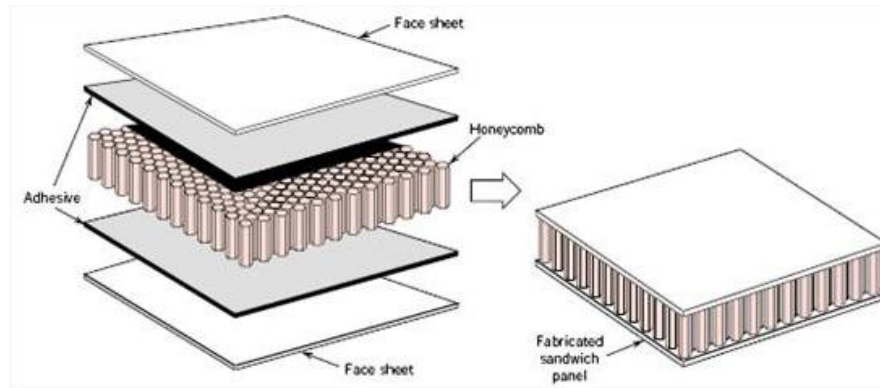
d. Komposit struktural (*Structute composites*)

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



Gambar 7. Mikrostruktur lamina. (Widodo, 2008)

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



Gambar 8. *Structural composites sandwich panels.*

(<http://www.engineeredmaterialsinc.com>)

B. Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara

Abu terbang batubara adalah partikel halus yang merupakan endapan dari tumpukan bubuk hasil pembakaran batubara. Limbah pada tinitier dapat dalam jumlah yang cukup besar. Jumlah tersebut cukup besar, sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, perairan dan penurunan kualitas ekosistem.

Batubara merupakan hasil tambang, karena batubara terletak pada kedalaman tanah sekitar 10 sampai 80 m. di atas lapisan batubara terdapat lapisan penutup (*overburden*), dan batu pasir (*sandstone*). Proses penambangan batubara dilakukan dengan *open pit*, yaitu mengambil lapisan penutupnya terlebih dahulu baru kemudian diambil batubaranya. Sisa hasil pembakaran dengan batubara menghasilkan abu yang disebut dengan *fly ash*. Abu terbang (*fly ash*) memiliki beberapa kandungan/unsure kimia utama seperti SiO_2 : 52,00%, Al_2O_3 : 31,86%, Fe_2O_3 : 4,89% dan MgO : 4,66%.

1. Karakteristik Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam *furnace* pada PLTU TARAHAH yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan elektrostatic precipitator. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatik. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan, partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada presipitator elektrostatik biasanya berukuran silt (0.074 – 0.005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi dalam kandungan mineral *fly ash* (*abu terbang*) dari batu bara 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.

Senyawa-senyawa penyusun abu terbang sebenarnya sangat ditentukan oleh mineral-mineral pengotor bawaan yang terdapat pada batu bara itu

sendiri yang disebut dengan inherent mineral matter. Mineral pengotor yang terdapat dalam batu bara dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu :

- a. *Syngenetic* atau disebut dengan mineral matter : pada dasarnya mineral-mineral ini terendapkan di tempat tersebut bersamaan dengan saat proses pembentukan peat.
- b. *Epigenetica* juga disebut dengan *extraneous mineral matter*: pada prinsipnya mineral-mineral pengotor ini terakumulasi pada cekungan setelah proses pembentukan lapisan peat tersebut selesai.

Dari sejumlah abu yang dihasilkan dalam proses pembakaran batubara, maka sebanyak 55% - 85 % berupa abu terbang (*fly Ash*) dan sisanya berupa abu dasar (*Bottom Ash*). Sedangkan dari PLTU Suralaya dari sejumlah abu yang dihasilkan hampir 90 % berupa abu terbang (*Fly Ash*). Kedua jenis abu ini memiliki perbedaan karakteristik serta pemanfaatannya. Biasanya untuk fly ash (abu terbang) banyak dimanfaatkan dalam perusahaan industri karena abu terbang ini mempunyai sifat pozolanik, sedangkan untuk abu dasar sangat sedikit pemanfaatannya dan biasanya digunakan sebagai material pengisi (Aziz1, 2006)

- a. Proses pembentukan *Fly Ash* (abu terbang)

Sistem pembakaran batubara umumnya terbagi 2 yakni sistem unggun terfluidakan (*fluidized bed system*) dan unggun tetap (*fixed bed system* atau *grate system*). Disamping itu terdapat system ke-3 yakni *spouted bed system* atau yang dikenal dengan unggun pancar. *Fluidized bed system* adalah sistem dimana udara ditiup dari

bawah menggunakan blower sehingga benda padat di atasnya berkelakuan mirip fluida. Teknik fluidisasi dalam pembakaran batubara adalah teknik yang paling efisien dalam menghasilkan energi. Pasir atau *corundum* yang berlaku sebagai medium pemanas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan biasanya dilakukan dengan minyak bakar. Setelah temperatur pasir mencapai temperature bakar batubara (300°C) maka diumpankanlah batubara. Sistem ini menghasilkan abu terbang dan abu yang turun di bawah alat. Abu-abu tersebut disebut dengan fly ash dan bottom ash. Teknologi *fluidized bed* biasanya digunakan di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (80-90%) berbanding (10-20%). *Fixed bed system* atau *Grate system* adalah teknik pembakaran dimana batubara berada di atas *conveyor* yang berjalan atau *grate*. Sistem ini kurang efisien karena batubara yang terbakar kurang sempurna atau dengan perkataan lain masih ada karbon yang tersisa. Ash yang terbentuk terutama *bottom ash* masih memiliki kandungan kalori sekitar 3000 kkal/kg. Di China, bottom ash digunakan sebagai bahan bakar untuk kerajinan besi (pandai besi). Teknologi *Fixed bed system* banyak digunakan pada industri tekstil sebagai pembangkit uap (*steam generator*). Komposisi fly ash dan bottom ash yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah : (15-25%) berbanding (75-25%) (Koesnadi, 2008).

2. Sifat-sifat abu terbang (*Fly Ash*) batubara

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

a. Sifat fisik

Abu terbang merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus.

Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m²/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain :

- 1). Warna : abu-abu keputihan
- 2). Ukuran butir : sangat halus yaitu sekitar 88 %

b. Sifat kimia

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silikat (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang.

Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub/bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100-3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya antara 170-1000 m²/kg

Tabel 1. Komposisi kimia abu terbang batubara

Komponen	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
SiO ₂	20-60%	40-60%	15-45%
Al ₂ O ₃	5-35%	20-30%	10-25%
Fe ₂ O ₃	10-40%	4-10%	4-15%
CaO	1-12%	5-30%	15-40%
MgO	0-5%	1-6%	3-10%
SO ₃	0-4%	0-2%	0-10%
Na ₂ O	0-4%	0-2%	0-6%
K ₂ O	0-3%	0-4%	0-4%
LOI	0-15%	0-3%	0-5%

3. Pemanfaatan abu terbang (*Fly Ash*) batubara

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

- a. penyusun beton untuk jalan dan bendungan
- b. penimbun lahan bekas pertambangan
- c. *recovery magnetik, cenosphere* dan karbon
- d. bahan baku keramik, gelas, batubata, dan refraktori
- e. bahan penggosok (*polisher*)
- f. filler aspal, plastik, dan kertas
- g. pengganti dan bahan baku semen
- h. aditif dalam pengolahan limbah (*waste stabilization*)
- i. konversi menjadi zeolit dan adsorben

Refraktori merupakan bahan tahan api sebagai penahan (*isolator*) panas pada tanur-tanur suhu tinggi yang banyak digunakan oleh berbagai industri, seperti industri peleburan logam, kaca, keramik, semen. Refraktori cor merupakan bahan tahan api berupa bubuk yang jika dicampur dengan air dan dibiarkan beberapa saat akan mengeras (*setting*). Penggunaannya sebagai isolator panas dilakukan dengan cara pengecoran adonan campuran bahan tersebut dengan air pada dinding tanur yang akan diisolasi.

Ada 3 tipe refraktori cor berdasarkan kandungan CaO-nya (Kumar et al,2003; Silvonen,2001) yaitu:

- a. *Low cement castables* mengandung maksimum CaO 2,5 %
- b. *Ultra - low cement castables* mengandung CaO <>
- c. *No cement castables* mengandung CaO <>

Menurut data produk perdagangan dari Sharada Ceramic Ltd, India (2000), refraktori cor yang bersifat asam mengandung Al_2O_3 65 - 95%, dan SiO_2 5 - 32%, tahan terhadap suhu 1750 - 1860°C, *bulk density* 2,1 - 2,8 g/ml. Bahan refraktori yang baik harus memiliki kadar Al_2O_3 lebih tinggi daripada SiO_2 dengan perbandingan $Al_2O_3 : SiO_2 = 65\% : 35\%$ atau nilai $Al_2O_3/SiO_2=1,85$ (Aziz2, 2006)

Penelitian dan aplikasi pemanfaatan abu terbang sebagai bahan refraktori sudah dilakukan di beberapa negara seperti India dan Cina. Abu terbang PLTU-Suralaya diduga mempunyai potensi sebagai salah satu bahan baku refraktori. Dalam rangka pemanfaatan abu terbang PLTU Suralaya untuk bahan baku pembuatan refraktori, khususnya refraktori cor (*castable refractory*), perlu terlebih dahulu dilakukan penelitian bahan baku (*raw materials*) abu terbang tersebut untuk mengetahui karakteristiknya melalui serangkaian penelitian dan pengujian

4. Dampak *Fly Ash* (abu terbang) di lingkungan

Adapun dampak yang ditimbulkan dari fly ash, yaitu:

a. Dampak Positif

Fly ash (abu terbang/abu layang) dimanfaatkan sebagai adsorben limbah sasirangan dan logam berat berbahaya, bahan pembuat beton, bahan pembuat refraktori cor tahan panas, Hal itu didasari oleh struktur abu layang yang berpori dan luas permukaan yang besar, sehingga dengan sedikit perlakuan dan modifikasi menjadikan abu layang sebagai bahan yang cukup potensial untuk berbagai keperluan sehingga dapat menghemat biaya dan tanpa disadari dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat fly ash itu sendiri. Bagi industry yang menggunakan bahan bakar batu bara, seperti PLTU dapat memanfaatkan fly ash sebagai sumber ekonomi sampingan.

b. Dampak Negatif

Apabila *fly ash* didiamkan dan tidak diolah maka akan berdampak pada lingkungan dan manusia, karna *fly ash* merupakan salah satu limbah B3.

Tabel 2. Waktu paparan *fly ash*

Konsentrasi (μ g/m ³)	Waktu pemaparan	Dampak
750	24 jam rata-rata	Meningkatnya jumlah penyakit yang timbul
300	24 jam rata-rata	Memburuknya pasien bronchitis akut
200	24 jam rata-rata	Meningkatnya jumlah pekerja pabrik yang absen
100 – 130	Rata-rata tahunan	Meningkatnya kasus pernapasan pada anak
100	Rata-rata geometrik tahunan	Meningkatnya angka kematian pada usia lebih dari 50 tahun
80 – 100	Rata-rata geometrik 2 tahun	Meningkatnya angka kematian pada usia 50 – 69 tahun

Adapun jenis-jenis penyakit yang ditimbulkan oleh partikulat fly ash batubara:

1). Penyakit Silikosis

Penyakit Silikosis disebabkan oleh pencemaran debu silika bebas, berupa SiO_2 , yang terhisap masuk ke dalam paru-paru dan kemudian mengendap. Debu silika bebas ini banyak terdapat di pabrik besi dan baja, keramik, pengecoran beton, bengkel yang mengerjakan besi (mengikir, menggerinda, dll).

2). Penyakit Antrakosis

Penyakit Antrakosis adalah penyakit saluran pernapasan yang disebabkan oleh debu batubara. Penyakit ini biasanya dijumpai pada pekerja-pekerja tambang batubara atau pada pekerja-pekerja yang banyak melibatkan penggunaan batubara.

C. Sifat Material Serat

Material serat memiliki sifat-sifat yang tidak jauh berbeda dari material teknik lainnya. Sifat-sifat tersebut diantaranya. Sifat mekanik, yaitu sifat dari bahan yang dikaitkan dengan kemampuan bahan tersebut menahan beban. Dalam praktek suatu bahan yang dibebani harus mampu menahan beban tersebut tanpa timbul kerusakan. Sifat Fisik, yaitu kemampuan material untuk mengalami peristiwa fisika seperti titik lebur, daya hantar listrik dan panas. (c) Sifat Pengerjaan, merupakan kemampuan material untuk membentuk sifat-sifat baru akibat perlakuan khusus padanya. (d) Sifat teknologi, yaitu

kemampuan material untuk diproses secara teknologi seperti dipress. (e) Sifat Kimia merupakan kemampuan material untuk mengalami peristiwa kimia.

1. Sifat-Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik merupakan suatu kemampuan material untuk menahan beban yang diberikan kepada material tersebut. (a) Kekuatan (*Strength*), merupakan kemampuan material untuk menahan beban tanpa mengalami kepatahan, (b) Kekakuan (*Stiffness*) yaitu sesuatu yang tidak dapat dipisahkan dari suatu materi. Banyak material yang kaku memiliki kepadatan yang rendah untuk menahan deformasi dari pemasangan, gravitasi, dan vibrasi pada saat pengoperasiannya. (c) Ketahanan korosi (*Corrosion Resistance*) yaitu tidak cepat berkarat sehingga mempunyai masa umur pakai yang panjang, (d) Ketahanan gesek/ aus (*Wear Resistance*), (e) Berat (*Weight*) yaitu berat material yang berat dapat diubah menjadi ringan tanpa mengurangi unsur-unsurnya. (f) Ketahanan lelah (*Fatigue Life*) merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang-ulang. Apabila suatu logam dikenakan tegangan berulang, maka akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. (g) Meningkatkan konduktivitas panas yaitu menambah laju perambatan panas pada padatan dengan aliran panas yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. (h) Kekerasan atau *hardness* merupakan ketahanan suatu material untuk menahan kerusakan

(*damage*) eksternal seperti goresan atau tekanan. (i) Keuletan dan kegetasan. Keuletan yaitu suatu sifat yang menggambarkan kemampuan material untuk menahan deformasi hingga terjadinya perpatahan sedangkan kegetasan adalah sebagai terjadinya perpatahan akibat pembebanan tanpa didahului oleh perubahan bentuk. (j) Elastisitas dan plastisitas. Elastisitas merupakan kemampuan material untuk kembali ke bentuk semula setelah menerima beban yang menyebabkan perubahan bentuk. Jika material dibebani melebihi batas elastisitasnya maka akan terjadi perubahan bentuk (*deformasi*) permanen. Plastisitas merupakan kemampuan suatu material untuk mengalami perubahan bentuk tanpa mengalami kerusakan [Yunus, 2008]

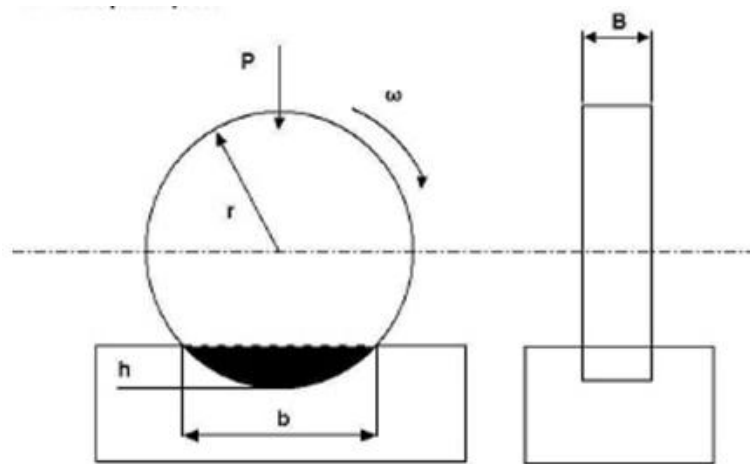
D. Uji Keausan

Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dengan permukaan lainnya. Keausan telah menjadi perhatian praktis sejak lama, tetapi hingga beberapa saat lamanya masih belum mendapatkan penjelasan ilmiah yang besar sebagaimana halnya pada mekanisme kerusakan akibat pembebanan tarik, dampak, puntir atau *fatigue*. Hal ini disebabkan masih lebih mudah untuk mengganti komponen/*part* suatu sistem dibandingkan melakukan desain komponen dengan ketahanan/umur pakai (*life*) yang lama. Saat ini, prinsip penggantian dengan mudah seperti itu tidak dapat diberlakukan lebih lanjut karena pertimbangan biaya (*cost*). Pembahasan mekanisme keausan pada

material berhubungan erat dengan gesekan (*friction*) dan pelumasan (*lubrication*). Telaah mengenai ketiga subjek ini yang dikenal dengan ilmu Tribologi. Keausan bukan merupakan sifat dasar material. Melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam.

1. Prinsip uji keausan

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan, maka semakin tinggi volume material yang terkelupas daribenda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan oleh Gambar 9 berikut ini. Herman Akhmad (2009).



Gambar 9. Metode keausan ogoshi

Dengan B adalah tebal revolving disc (mm), r jari-jari disc (mm), b lebar celah material yang terabrasi (mm) maka dapat diturunkan besarnya volume material yang terabrasi (W):

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12 r}$$

(1)

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

$$V = \frac{W}{x}$$

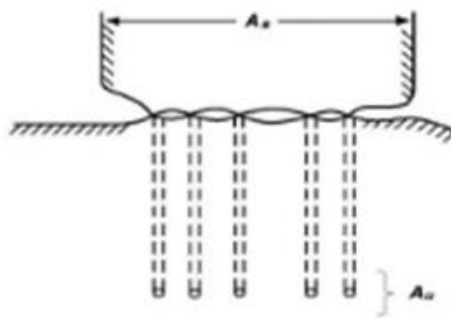
(2)

Sebagaimana telah disebutkan pada bagian pengantar, material jenis apapun akan mengalami keausan dengan mekanisme yang beragam , yaitu keausan *adhesive*, keausan *abrasive*, keausan fatik , dan keausan oksidasi. Dibawah ini diberikan penjelasanringkas dari mekanisme-mekanisme tersebut :

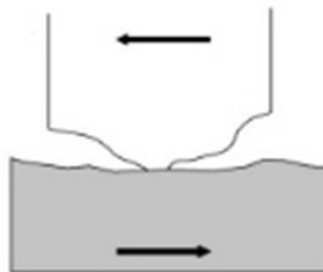
Mekanisme keausan terdiri dari :

1. Keausan adhesive (*Adhesive wear*)

Terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan satu sama lainnya (*adhesive*) serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan / pengoyakan salah satu material seperti di perlihatkan pada gambar 10 di bawah ini :



Gambar 10. Ilustrasi skema keausan adesif



Gambar 11. Keausan metode adesif

Faktor yang menyebabkan *adhesive wear* :

- a. Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat atau senyawa intermetalik.

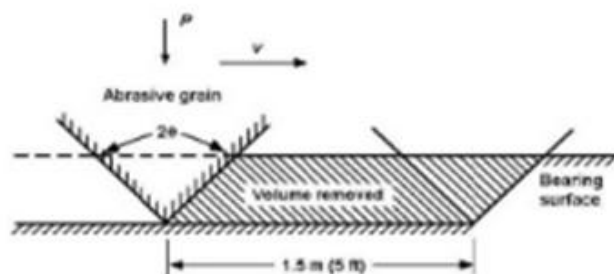
b. Kebersihan permukaan.

Jumlah *wear debris* akibat terjadinya aus melalui mekanisme adhesif ini dapat dikurangi dengan cara ,antara lain :

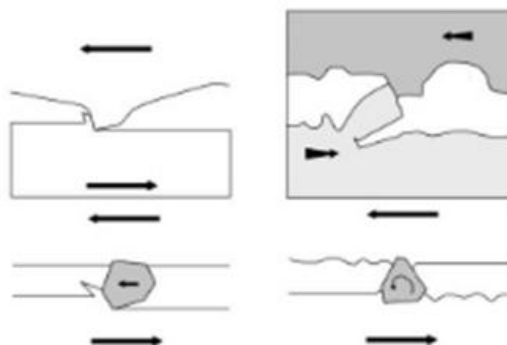
- a. Menggunakan material keras.
- b. Material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur kristalnya.

2. Keausan Abrasif (*Abrasive wear*)

Terjadi bila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak , seperti diperlihatkan pada Gambar 12 di bawah ini. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*)partikel keras atau *asperity* tersebut. Dibawah ini adalah contoh dari skema keausan abrasif.



Gambar 12. Ilustrasi skema keausan abrasif



Gambar 13. Metode keausan abrasif

Sebagai contoh partikel pasir silica akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada suatu permukaan seperti pada kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada di dalam sistem slurry. Pada kasus pertama, partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan akhirnya mengakibatkan pengoyakan. Sementara pada kasus terakhir, partikel tersebut mungkin hanya berputar (*rolling*) tanpa efek abrasi.

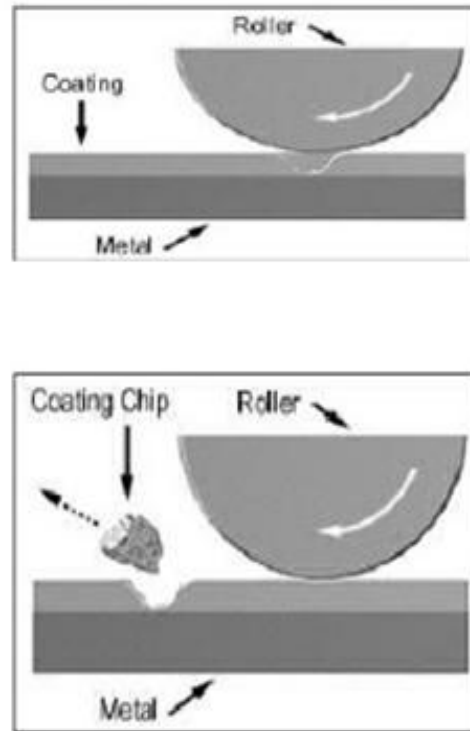
Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahanan material terhadap *abrasive wear* antara lain:

- a. *Material hardness*
- b. Kondisi struktur mikro
- c. Ukuran abrasif
- d. Bentuk

Abrasif Bentuk kerusakan permukaan akibat *abrasive wear*, antarlain :

1. *Scratching*
2. *Scoring*
3. *Gouging*

hanya satu interaksi, sementara pada keausan fatik dibutuhkan interaksi multi. Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Tingkat keausan sangat bergantung pada tingkat pembebanan. Gambar 14 memberikan skematis mekanisme keausan lelah :



Gambar 14. ilustrasi skema keausan lelah

3. Keausan Oksidasi/Korosif (*Corrosive wear*)

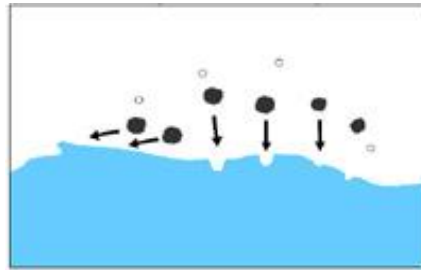
Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan *interface* antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut



Gambar 15. Keausan korosi

4. Keausan Erosi (*Erosion wear*)

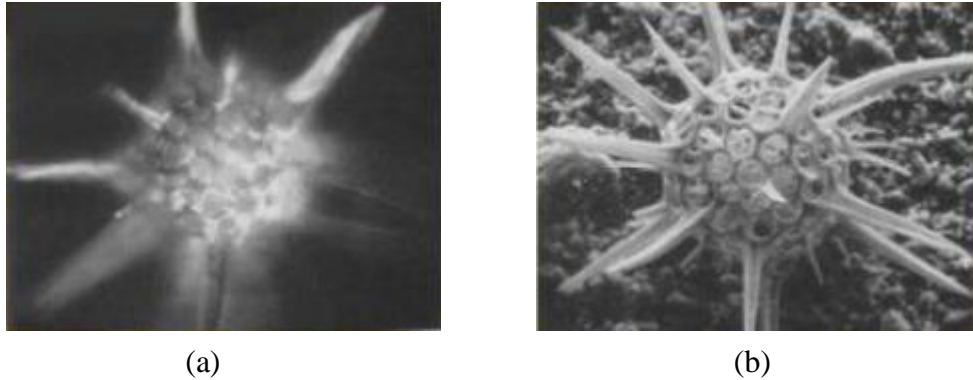
Proses erosi disebabkan oleh gas dan cairan yang membawa partikel padatan yang membentur permukaan material. Jika sudut benturannya kecil, keausan yang dihasilkan analog dengan *abrasive*. Namun, jika sudut benturannya membentuk sudut gaya normal (90 derajat), maka keausan yang terjadi akan mengakibatkan *brittle failure* pada permukaannya, skematis pengujiannya seperti terlihat pada gambar 16 berikut ini :



Gambar 16. Keausan metode erosi

E. Uji SEM (*Scanning electron microscopy*)

Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Pada gambar 17 dibawah ini akan diberikan perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan mikroskop elektron.



Gambar 17. Perbandingan hasil gambar (a) mikroskop cahaya
(b) mikroskop elektron

Disamping itu dengan menggunakan elektron kita juga bisa mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan, yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis.

Pada sebuah mikroskop elektron (SEM) terdapat beberapa peralatan utama antara lain;

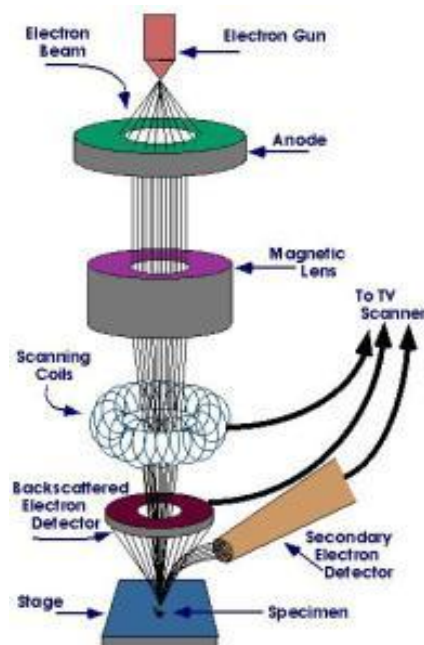
1. Pistol elektron, biasanya berupa filament yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron, seperti tungsten.
2. Lensa untuk elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. Sistem vakum, Karena elektron sangat kecil dan ringan jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut;

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar electron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetis memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan electron baru yang akan diterima oleh detector dan dikirim ke monitor (CRT).

Secara lengkap skema SEM akan dijelaskan pada gambar 18 dibawah ini

:



Gambar 18. Skema uji SEM (*scanning electron microscopy*)

III. METODELOGI PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di :

1. Pembuatan spesimen kanvas rem berbahan (*fly ash*) abu terbang batubara berpenguat matrik (*phenolic*) di laboratorium Material Teknik Universitas lampung.
2. Pengujian Sifat Mekanik (Ketahanan Aus komposit abu terbang batubara berpenguat matrik *phenolic*) di laboratorium uji material kampus baru Universitas Indonesia Depok..

B. Bahan yang Digunakan

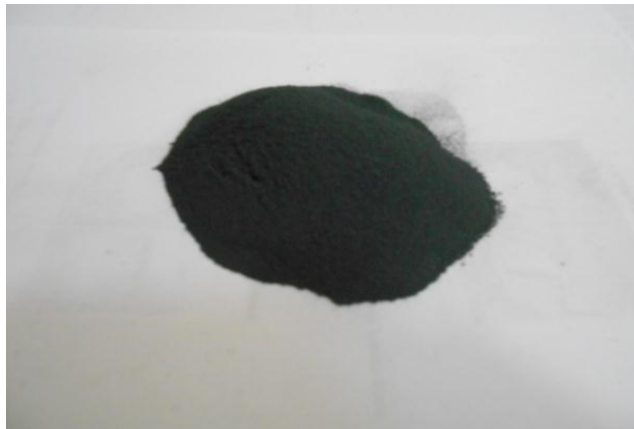
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Abu terbang (*fly ash*) batubara sebagai bahan utama komposit.



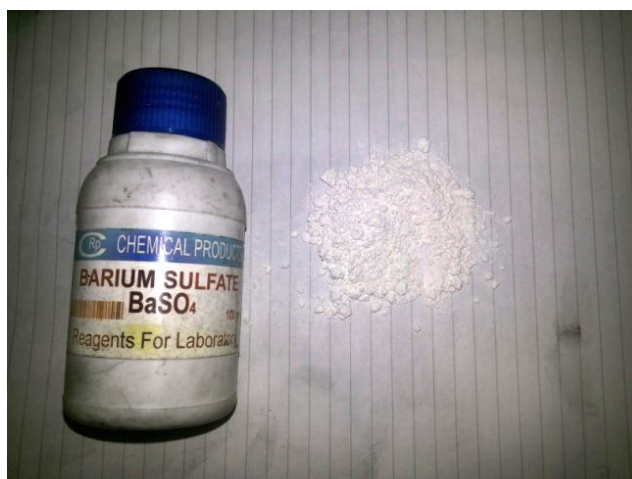
Gambar 19. Abu terbang (*fly ash*)

2. Matrik *phenolic*



Gambar 20. Matrik *phenolic*

3. Barium sulfat (BaSO_4)



Gambar 21. Barium sulfat (BaSO_4)

C. Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Cetakan



Gambar 22. Cetakan

2. Timbangan digital untuk menimbang berat abu terbang (*fly ash*) batubara dan matrik *phenolic* yang digunakan.



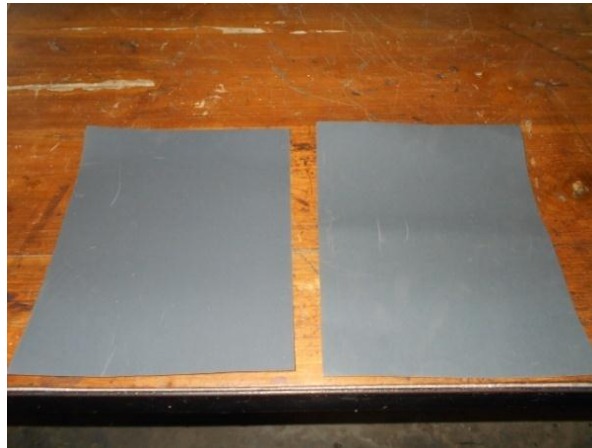
Gambar 23. Timbangan digital

3. *Mixer* digunakan untuk mencampurkan komposisi dari komposit agar tercampur secara merata.



Gambar 24. *Mixer*

4. Amplas digunakan untuk menghaluskan spesimen yang telah di *furnace*, agar spesimen menjadi rata dan halus.



Gambar 25. Amplas

5. Mesin *furnace*



Gambar 26. Mesin *furnace*

8. Dongkrak hidrolik



Gambar 27. Dongkrak hidrolik

9. *Thermo controller* dan *heater*

Thermo controller dan *heater* ini digunakan untuk mengatur suhu temperatur pada cetakan spesimen. *Thermo controller* dan *heater* ini dapat memanaskan elemen pemanas hingga temperatur 600° C



Gambar 28. *Thermo controller dan heater*

8. Mesin uji ketahanan aus (*Ogoshi high speed universal wear testing machine*)

Fungsi *ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U* adalah untuk menentukan laju keausan suatu material dimana benda uji memperoleh beban gesek dari disk yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan ini akan menghasilkan kontak yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material yang tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material.



Gambar 29. *Ogoshi high speed universal wear testing machine type*

OAT-U

D. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan proses, yaitu:

1. Survei Lapangan dan *Study Literature*

Pada penelitian ini, proses yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data awal sebagai *study literature*. *Study literature* bertujuan untuk mengenal masalah yang dihadapi, serta untuk menyusun rencana kerja yang akan dilakukan. Pada study awal dilakukan langkah-langkah seperti survey lapangan di PLTU Tarahan, untuk mengambil data penelitian tentang abu terbang (*fly ash*) batubara yang sudah ada sebagai pembanding terhadap hasil pengujian yang akan dianalisa.

2. Persiapan Abu Terbang (*fly ash*) Batubara

Serat yang digunakan pada penelitian ini adalah abu terbang (*fly ash*) batubara. Langkah-langkah persiapan adalah sebagai berikut :

- a. Memilih abu terbang (*fly ash*) batubara yang akan digunakan.
- b. Membersihkan abu terbang (*fly ash*) batubara dari kotoran yang tercampur didalamnya.

3. Pembuatan Spesimen komposit (*fly ash*)

Pembuatan spesimen dilakukan dalam tiga proses tahapan, yaitu :

- a. Menganalisis komposisi kimia adalah hasil dari proses pengekstrakan abu terbang (*fly ash*) batubara.

Metode pelaksanaan penelitian yang dilakukan dibagi menjadi 4 tahapan, yaitu:

- 1). Persiapan cetakan spesimen uji
- 2). Persiapan pencampuran bahan
- 3). Pembuatan spesimen uji
- 4). Prosedur pengujian dan analisa

- 1) Persiapan cetakan spesimen uji

Cetakan spesimen uji dibuat dengan ukuran standar pengujian, bahan yang digunakan untuk cetakan ini adalah baja dengan kelas sedang. Cetakan ini disesuaikan dengan geometri spesimen uji keausan ASTM G 99-95a. Dengan dimensi luar cetakan panjang : 70 mm, lebar : 47 mm, dan tinggi 20 mm dan dimensi dalam cetakan yaitu panjang : 47 mm, lebar : 33 mm, dan tinggi : 20 mm yang ditunjukkan pada gambar berikut ini :



- 2). Persiapan pencampuran bahan
 - a). Persiapan matriks

Pencampuran untuk pembuatan spesimen uji keausan, matriks yang digunakan adalah resin *phenolic*. Resin ini memiliki warna hitam dan berbentuk serbuk. Resin ini digunakan karna memiliki ketahanan temperatur tinggi.

Komposisi matriks yang digunakan sebanyak 50 %, 60%, dan 70%.

b). Persiapan bahan penguat (*Reinforcement*)

Bahan penguat yang digunakan adalah *fly ash* batu bara PLTU Tarahan. *Fly ash* mengandung bahan seperti: silikat (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. *Fly ash* ini memiliki bentuk serbuk berwarna abu-abu. Komposisi *fly ash* yang digunakan yaitu sebanyak 40%, 30% dan 20%.

c). Persiapan bahan pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit ini adalah barium sulfat (BaSO_4). Barium sulfat (BaSO_4) memiliki fungsi memperbaiki ketahanan matriks pnenolic terhadap temperatur tinggi. Komposisi barium sulfat (BaSO_4) sebanyak 10%.

Tabel 3. Komposisi bahan penyusun komposit

Bahan penyusun komposit	Variasi komposisi komposit (%)		
	A	B	C
<i>Phenolic resin</i>	50%	60%	70%
<i>Fly ash</i>	40%	30%	20%
BaSO4 (Barium sulfat)	10%	10%	10%

3). Pembuatan spesimen uji

Setelah menyiapkan bahan penyusun komposit yang berupa *phenolic resin*, *fly ash*, BaSO₄ (Barium sulfat), dengan komposisi yang sudah sesuai, selanjutnya mencampur komposisi (*mixing*) dengan lama waktu pencampuran 20 menit. Sehingga mendapatkan campuran yang homogen. Selanjutnya adalah memasukkan bahan bahan yang telah tercampur kedalam cetakan yang telah diberi oli untuk mempermudah mengeluarkan komposit dari cetakan. Kemudian memanaskan komposit dengan temperatur 250° C dan ditekan dengan tekanan 5 ton selama 40 menit. Setelah proses penekanan selesai selanjutnya adalah proses *curing* pada proses ini spesimen komposit dipanaskan dengan menggunakan *Furnace* selama 4 jam dengan temperatur 150° C. Selanjutnya mengamplas spesimen agar permukaan yang akan diuji kekerasan memiliki permukaan yang rata dan halus, selanjutnya memberi label (Kode spesimen).

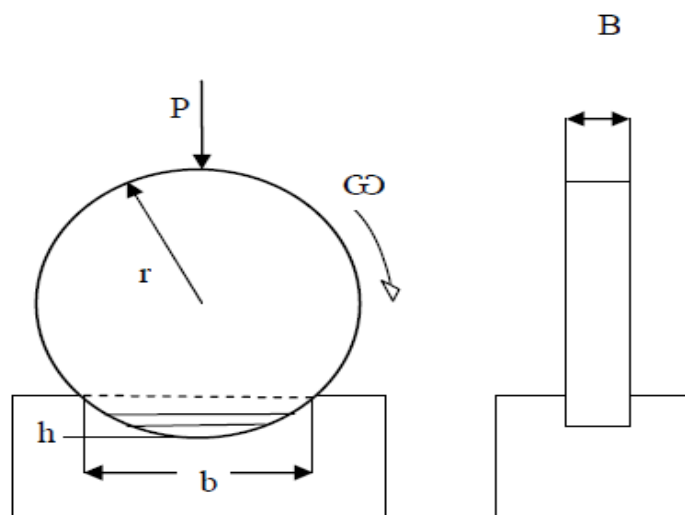
Tabel 4. Jumlah spesimen yang akan diuji keausan

Pengujian	Jumlah spesimen komposit		
	Variasi A	Variasi B	Variasi C
keausan	6	6	6

- a. Pengujian cetakan ketahanan aus sesuai dengan standar ASTM G 99 - 95 yaitu sebagai berikut :

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi

keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari disk yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji.



Keterangan :

P : Beban

b : Lebar celah material yang terabrasi

r : jari- jari *revolving disc*

B : Tebal *revolving disc*

Rumus uji keausan yaitu sebagai berikut :

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12 r} \quad V = \frac{W}{X}$$

Dimana:

B = lebar piringan pengaus (mm)

b = lebar celah material yang terabrasi (mm)

r : jari- jari *revolving disk*

W = harga keausan spesifik (mm³)

V = laju keausan (mm³/mm)

X = jarak luncur (mm)

4). Prosedur pengujian dan analisa

Pelaksanaan pengujian adalah proses uji keausan, pengujian keausan pada komposit dilakukan untuk mengetahui nilai keausan. Dari pengujian ini akan didapatkan hasil nilai keausan.

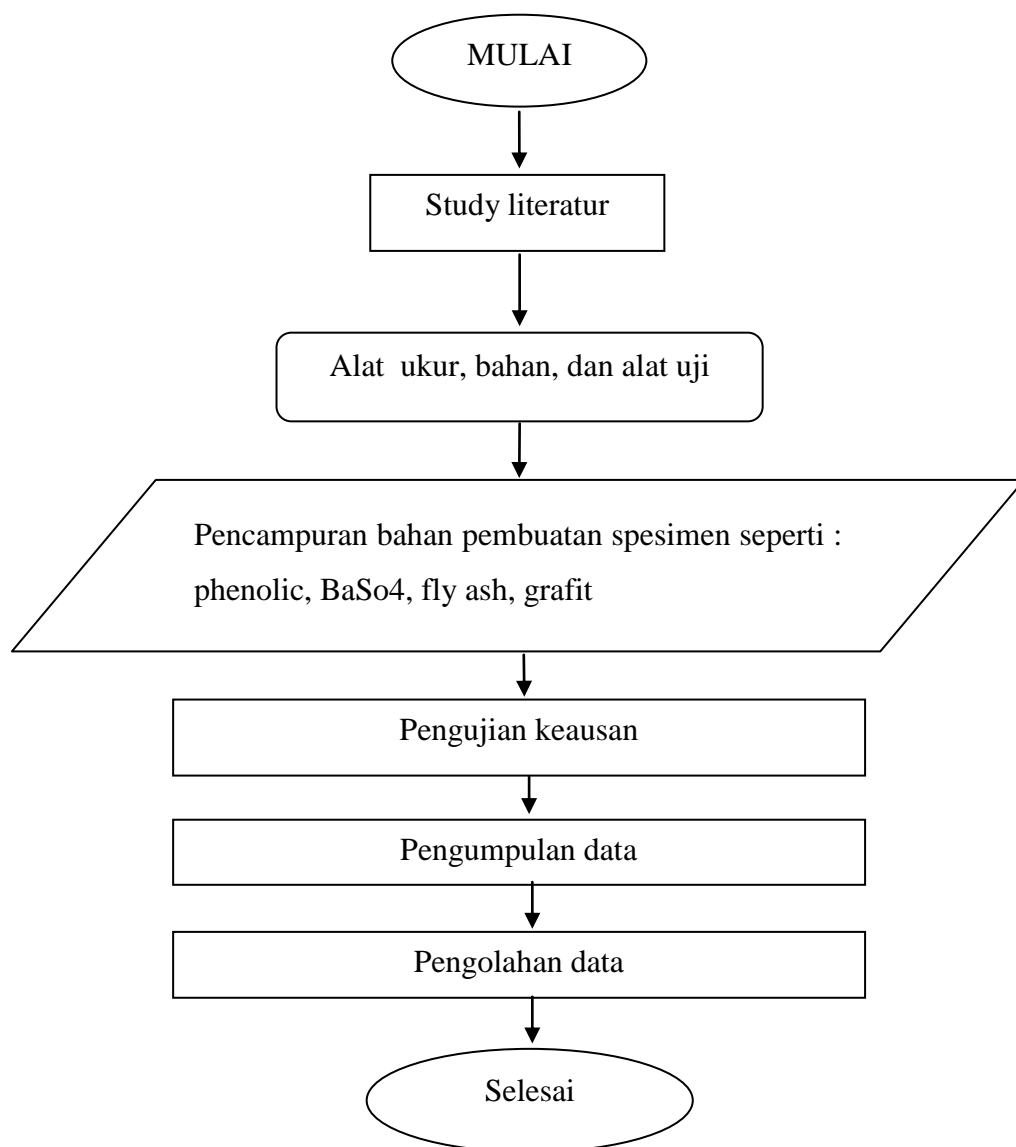
Berikut adalah langkah-langkah dalam pengujian keausan :

- a. Mengamplas permukaan benda uji sampai halus.
- b. Menyetting mesin uji aus ogoshi.
- c. Memasang spesimen pada *sample holder*, lalu menyalakan mesin uji ogoshi.
- d. Mengeluarkan spesimen dari *sample holder*.
- e. Mengukur lebar celah spesimen yang terabrasi, (b), dengan menggunakan mikroskop optic.

- f. Mencatat hasil pengukuran jejak, kemudian menghitung volume spesimen yang terabrasi (W) dan laju aus (V) dengan rumus :

4. Alur proses Penelitian

Dibawah ini menunjukkan gambar diagram alur penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut :



V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan data hasil pengujian keausan dan SEM (*scanning electron microscope*) komposit berpenguat fly ash, maka didapat beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Pada komposit dengan variasi komposisi *fly ash* 30%, *phenolic* 60% dan BaSO₄ 10%, memiliki hasil rata-rata spesifik abrasi terbaik yaitu 8,10 E-07 mm³/mm. jadi pada variasi komposisi ini *phenolic* dan BaSO₄ sebagai *matrix* dapat mengikat seluruh *fly ash* sebagai penguat yang terdapat pada komposit dengan sangat baik.
2. Pada komposit dengan variasi komposisi *fly ash* 40%, *phenolic* 50% dan BaSO₄ 10%, memiliki hasil rata-rata spesifik abrasi yang besar yaitu 2,57 E-06 mm³/mm, Jadi pada variasi ini komposisi *fly ash* terlalu banyak sehingga *phenolic* dan BaSO₄ sebagai *matrix* tidak dapat mengikat dengan baik seluruh *fly ash* yang berfungsi sebagai penguat, sehingga partikel komposit lebih mudah terlepas saat menahan laju keausan.

B. Saran

Adapun beberapa saran yang ingin disampaikan penulis agar penelitian ini dapat lebih dikembangkan lagi adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pembuatan komposit dengan alat yang lebih memadai, contohnya alat penekan panas yang terdapat ukuran kapasitas penekanannya, agar tekanan pada saat proses pengepresan komposit dapat memenuhi standar dan diperoleh komposit dengan hasil yang maksimal.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai komposit kanvas rem berpenguat *fly ash*, dengan menambahkan variasi komposisi pada komposit agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal dan dapat segera diaplikasikan dalam dunia industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, 2011. *karakteristik komposit karbon batubara/arang tempurung kelapa*,
Universitas Hasanuddin, Makasar
- Dieter E George, Djaprie Sriati, 1988. *Metalurgi Mekanik (Terjemahan)*.
Erlangga, Jakarta.
- Gambar fly ash , dari [http://translate.google.co.id/translate?hl=id&langpair=en|id&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash.] diunduh pada tanggal
6 januari 2015
- Gambar komposit, dari [<http://www.komposit.co.id>] diunduh pada tanggal 8
januari 2015
- Gambar sifat material, dari [<http://www.scribd.com/doc/40071865/Bab-4-Sifat-Material>.] diunduh pada tanggal 8 januari 2015
- Herman akhmad, 2009. *BUKU PANDUAN PRAKTIKUM KARAKTERISASI MATERIAL 1*. Universitas Indonesia, Depok.
- Kampas rem, dari [<http://alekkurniawan.blogspot.com/2009/05/kampas-rem-berbahan-serbuk-kayu> dan.html = [kampas-rem-berbahan-serbuk-kayu](http://alekkurniawan.blogspot.com/2009/05/kampas-rem-berbahan-serbuk-kayu).] diunduh pada 15 januari 2015
- Manfaat abu terbang batubara, dari [<http://dafi017.blogspot.com/2009/03/pemanfaatan-fly-ash-abu-terbang-dari.html>] diunduh pada tanggal 2 januari 2015

Pengujian keausan material, dari [<http://repository.ui.ac.id/contents/11/203f21941a45967f2725262fb729753931ce61b8.pdf>] diunduh pada 13 januari 2015.

Pengujian keausan material, dari (<http://jurnal.pdii.lipi.go.id/admin/jurnal/3308367374.pdf>) diunduh pada 13 januari 2015.

Pratama.,(2011), *Analisa Sifat Mekanik Komposit Bahan Kampas Rem Dengan Penguat Fly Ash Batubara*, Universitas Hasanuddin,Makasar

Sifat mekanik bahan, dari [<http://mustazamaa.wordpress.com/2010/04/15/sifat-sifat-mekanik-bahan/>] diunduh pada tanggal 2 januari 2015

Smallman R.E & Bishop R. J, Djaprie Sriati, 2000. *Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Bahan* (Terjemahan). Erlangga, Jakarta.

Sulistijono. 2004. *Material Komposit*. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS, Surabaya.

Surdia, Tata dan Saito, Shinroku, 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.

Syahid,(2011), *analisa sifat mekanik komposit bahan kampas rem dengan penguat fly ash batubara*, Universitas Hasanuddin,Makasar

Uji keausan, dari [<http://ftkceria.wordpress.com/2012/04/28/uji-keausan-wear/>] diunduh pada tanggal 2 januari 2015

Van Vlack Lawrence H, Djaprie Sriati, 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan* (Terjemahan), Erlangga, Jakarta.

Yusman.,(2012), *pengaruh ukuran fly ash pada kekuatan bending komposit resin epoxy*, Universitas Lampung, Lampung.