PENGARUH UKURAN SERBUK ABU TERBANG BATUBARA TERHADAP LAJU KEAUSAN KOMPOSIT ABU TERBANG BATUBARA / *PHENOLIC*

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD FATHLIANSYAH P

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2016

ABSTRACT

EFFECT OF COAL FLY ASH POWDER SIZE OF COMPOSITE WEAR RATE OF COAL FLY ASH/PHENOLIC

By:

MUHAMMAD FATHLIANSYAH P

The need for strong material, inexpensive, and lightweight growing increasingly time, and the composite can be a solution to these needs, which the constituents of the composite were from natural and industrial wastes. Utilization of coal fly ash can also be used in the manufacture of composites. This research is manufacture of composite coal fly ash/phenolic powder size by using a variation on the process of hot pressing. The effect of variations in the size of powder coal fly ash on composite wear rate of coal fly ash/phenolic can be seen.

This research was conducted with the variation of coal fly ash powder of 100 mesh, 150 mesh, and 200 mesh. Composite coal fly ash/phenolic has the constituents of the composition of the matrix of phenolic 60%, as the reinforcement of fly ash coal, graphite, iron powder 20%, barium sulfate 10% as a filler, and nitrile butadiene rubber 10% as a binder, is processed by method of hot pressing, the heating temperature is used to 250^{o}C, a pressure of 60 MPa and temperature of 150^{o}C curing.

Powder size of fly ash coal 200 mesh has wear resistance best in this research which proves that the size of the powder affect the mechanical properties of a material. The small size of the powder coal fly ash is what makes it distributed evenly and adherent to the other ingredients. In testing the wear of coal fly ash composite obtained specific values taken abrasion average value, composite powder size of 100 mesh coal fly ash obtained specific results of abrasion of $14{,}589\times10^{-6}$ mm^3/mm, the powder size of 150 mesh coal fly ash obtained specific results of abrasion of $19{,}987\times10^{-6}$ mm^3/mm, the size of the coal fly ash powder of 200 mesh obtained specific results of abrasion of $12{,}782\times10^{-6}$ mm^3/mm.

Keywords: Composite Coal Fly Ash/Phenolic, Hot Pressing, Wearing

ABSTRAK

PENGARUH UKURAN SERBUK ABU TERBANG BATUBARA TERHADAP LAJU KEAUSAN KOMPOSIT ABU TERBANG BATUBARA / *PHENOLIC*

Oleh :

MUHAMMAD FATHLIANSYAH P

Kebutuhan akan material kuat, murah, dan ringan semakin meningkat kian waktu, komposit dapat menjadi sebuah solusi akan kebutuhan tersebut dimana bahan penyusun komposit ada yang berasal dari alam dan limbah hasil industri. Pemanfaatan abu terbang batubara juga dapat digunakan dalam pembuatan komposit. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit abu terbang batubara/*phenolic* dengan menggunakan variasi ukuran serbuk pada proses *hot pressing*. Sehingga dapat diketahui pengaruh variasi ukuran serbuk abu terbang batubara terhadap laju keausan komposit abu terbang batubara/*phenolic*.

Penelitian ini dilakukan dengan variasi serbuk abu terbang batubara 100 mesh, 150 mesh, dan 200 mesh. Komposit abu terbang batubara/*phenolic* memiliki bahan penyusun dengan komposisi matrik *phenolic* 60%, sebagai penguat abu terbang batubara, grafit, serbuk besi 20%, barium sulfat 10% sebagai pengisi, dan *Nitril Butadiene Rubber* 10% sebagai pengikat, diproses dengan metode *hot pressing,* temperatur pemanasan yang digunakan 250^{o}C, tekanan 60 Mpa, dan temperatur *curing* 150^{o}C.

Ukuran serbuk abu terbang batubara 200 mesh memiliki ketahanan aus terbaik pada penelitian ini, yang membuktikan bahwa ukuran serbuk berpengaruh terhadap sifat mekanik suatu material, kecilnya ukuran serbuk abu terbang batubara inilah yang membuatnya dapat tersebar dan terikat dengan baik pada bahan lain dan mengisi rongga pada komposit. Pada pengujian keausan komposit abu terbang batubara diperoleh nilai spesifik abrasi yang diambil nilai rata-rata, komposit pada ukuran serbuk abu terbang batubara 100 mesh diperoleh hasil spesifik abrasi sebesar $14{,}589\times10^{-6}$ mm^3/mm, pada ukuran serbuk abu terbang batubara 150 mesh diperoleh hasil spesifik abrasi sebesar $19{,}987\times10^{-6}$ mm^3/mm, pada ukuran serbuk abu terbang batubara 200 mesh diperoleh hasil spesifik abrasi sebesar $12{,}782\times10^{-6}$ mm^3/mm.

Kata kunci : Komposit Abu terbang Batubara/*Phenolic, Hot Pressing*, keausan

PENGARUH UKURAN SERBUK ABU TERBANG BATUBARA TERHADAP LAJU KEAUSAN KOMPOSIT ABU TERBANG BATUBARA / *PHENOLIC*

Oleh

MUHAMMAD FATHLIANSYAH P

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK

pada

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016

Judul Skripsi	**: PENGARUH UKURAN SERBUK BATUBARA TERHADAP LAJU KEAUSAN KOMPOSIT ABU TERBANG BATUBARA / *PHENOLIC***
Nama	**: MUHAMMAD FATHLIANSYAH P**
NPM	**: 1115021055**
Jurusan	**: Teknik Mesin**
Fakultas	**: Teknik**

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.	**Zulhanif, S.T., M.T.**
NIP. 19740202 199910 1 001	**NIP. 19730402 200003 1 001**

2. Kepala Jurusan Teknik Mesin

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 19740816 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

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

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

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Ir. Sutarno, M.Sc.
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 November 2016

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

PENGARUH UKURAN SERBUK ABU TERBANG BATUBARA TERHADAP LAJU KEAUSAN KOMPOSIT ABU TERBANG BATUBARA / *PHENOLIC*

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang dipublikasikan dari perguruan tinggi atau instasi manapun, sebagaimana diatur dalam pasal 44 peraturan akademik Universitas Lampung dengan surat keputusan Rektor No. 159/H26/PP/2008, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Membuat Pernyataan

Muhammad Fathliansyah P
NPM. 1115021055

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di DKI Jakarta pada tanggal 08 Juni 1993, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Wilnan Pulungan dan Ibu Lies Sri Mulyati. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 012 Jakarta Timur pada tahun 2005, Sekolah Menengah Pertama Negeri 17 Kota Bekasi pada tahun 2008, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 6 Kota Bandar Lampung pada tahun 2011. Setelah itu penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2011 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) Tertulis.

Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai kepala bidang pendidikan dan pelatihan (Diklat) dan Pengurus Himpunan Mahasiswa Islam (HMI) Komisariat Teknik Unila. Pada bidang akademik, penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material (P2MM) pada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) tahun 2014. Sejak bulan Januari 2016 penulis mulai melakukan penelitian **"Pengaruh Ukuran Serbuk Abu Terbang Batubara Terhadap Laju Keausan Komposit Abu Terbang Batubara / *Phenolic*"** di bawah bimbingan Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met. selaku pembimbing utama dan Bapak Zulhanif, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping.

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

(Nabi Muhammad SAW)

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

(Muhammad Ali)

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

(William J. Siegel)

"Tuhan tidak memberikan apa yang kamu mau, tapi Tuhan memberikan yang terbaik untuk kamu"

(Muhammad Fathliansyah P)

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

(Confusius)

"Warisan cita-cita, takdir waktu, dan impian manusia adalah hal yang tidak akan pernah berakhir"

(Gol D. Roger)

Kupersembahkan karya sederhana ini untuk orang
yang sangat kusayangi dan kucintai

Kedua orang tuaku

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

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillaahirabbil'aalamiin, 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'at*nya di *yaumil 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 Ahmad Su'udi, S.T., M.T., sebagai Kajur Teknik Mesin Unila.
3. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met. selaku Pembimbing I, yang telah banyak memberikan banyak pelajaran baru dan bimbingan dalam kelancaran skripsi ini.

4. Bapak Zulhanif, S.T., M.T., selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu berdiskusi untuk kelancaran skripsi ini;

5. Bapak Harnowo Supriyadi, S.T., M.T., selaku Penguji, yang telah memberikan koreksi dan masukan untuk kelayakan skripsi ini.

6. Bapak Martinus, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan masukan selama menempuh perkuliahan.

7. Bapak Ir. Indra Mamad Ghandi, M.T selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah membantu kelancaran skripsi ini.

8. Bapak/ibu dosen yang telah memberikan ilmunya kepada penulis, sehingga penulis dapat mengaplikasikan ilmunya di dalam skripsi ini.

9. Kedua orang tuaku yang sangat kucintai, Bapak Wilnan Pulungan, S.E., dan Ibu Lies Sri Mulyati, yang senantiasa memberikan kasih sayang dan dukungan yang tak terbatas dan takkan terbalaskan, dan adikku tercinta Luthfi Zakia Amanda Pulungan yang selalu menjadi motivasi bagiku.

10. Pembimbing Kerja Praktek di LIPI P2MM yang telah banyak memberikan pengalaman dan ilmu yang baru, Bapak Bintang, Bapak Yunan, Bapak dedi, dan Bapak Suwono.

11. Teman-teman B.16 senasib seperjuangan, Sandy Dwi Hardin, Fajrin Muhtada, Muchlis Mutaqqin, Rizki Fedriansyah, Dimas Repaldo, Ardianto, Vito Pratama Yudha, Jerido Scorilan, M. Adi Jaya Sesunan, Deto Detroit, Gading Nurrahman, Aditya Kurniawan, Heri Nuryanto, Sandi Morse Parta, dan Riyan Fernandes M.S.P.

12. Orang-orang terdekatku, Muhamad Fajar, Dhany Supriyadi, Irham Fikri, Fajriyanti, Fanny Sukmawati, Dimas Mulyadi, Alif Rahman, Joko Supriyadi, Derry Setiawan, BLUR crew, CCB, Ria Destiana, Nando Septiando Lakova, Mohammad Haris, Faldi Ikhsan, Angga Roby V, Liwanson Jaya, dan Hendy Riyanto, yang selalu memberikan dukungan dan masukan.
13. Teman-teman Teknik Mesin Unila yang menjadi teman penulis dari awal mengenyam pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung selama ini.
14. Teman-teman *Lamban* Juang HMI Komisariat Unila yang banyak memberikan dukungan.
15. Pihak-pihak lain yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian skripsi yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

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. Aamiiiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, 14 Desember 2016
Penulis,

Muhammad Fathliansyah P

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRACT i

ABSTRAK ii

HALAMAN JUDUL iii

HALAMAN PERSETUJUAN iv

HALAMAN PENGESAHAN v

PERNYATAAN PENULIS vi

RIWAYAT HIDUP vii

MOTTO viii

PERSEMBAHAN ix

SANWACANA x

DAFTAR ISI..... xiii

DAFTAR GAMBAR xv

DAFTAR TABEL xviii

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Tujuan Penelitian 5

1.3 Batasan Masalah 5

1.4 Sistematika Penulisan 6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit 7

2.2 Abu Terbang Batubara 17

2.3 Metalurgi Serbuk 22

2.4 Pencampuran dan Pembentukan Serbuk 24

2.5 Keausan 28

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 32

3.2 Alat dan Bahan yang digunakan 32

3.3 Prosedur Penelitian 40

3.4 Alur Proses Penelitian 46

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Keausan 47

4.2 Hasil Pengamatan Foto Makro 53

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan 74

5.2 Saran 76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

2.1 Parameter fiber dalam pembuatan komposit 10

2.2 *Continous fiber composite* 11

2.3 *Woven fiber composite* 11

2.4 *Chopped fiber composite* 12

2.5 *Hybrid fiber composite* 12

2.6 Ilustrasi komposit berdasar strukturnya 13

2.7 Mikrostruktur lamina 14

2.8 *Structural composites sandwich panels* 15

2.9 Partikel yang dibentuk hasil pencampuran 25

2.10 Proses penekanan serbuk 26

2.11 Skema terjadinya proses *sintering* 27

2.12 Ilustrasi skematis keausan *adhesive* 29

2.13 Ilustrasi skematis keausan abrasif 30

2.14 Ilustrasi skematis keausan lelah 30

2.15 Ilustrasi skematis keausan oksidasi 31

3.1 Saringan ayakan 100, 150, 200 mesh 32

3.2 Cetakan 33

3.3 Timbangan digital 33

3.4 *Mixer* 34

3.5 *Oven* 34

3.6 Dongkrak hidrolik 35

3.7 *Furnace* 35

3.8 *Ogoshi high speed universal wear testing machine* 36

3.9 *Phenolic resin* 37

3.10 Abu terbang batubara 37

3.11 Barium sulfat (BaSO4) 38

3.12 Grafit 38

3.13 *Nitril butadiene rubber* (NBR) 39

3.14 Serbuk besi 39

3.15 Ilustrasi pengujian keausan 45

3.16 Diagram alir penelitian 46

4.1 Grafik nilai rata-rata spesifik abrasi komposit 51

4.2 Hasil pengamatan foto makro komposit K100a 54

4.3 Hasil pengamatan foto makro komposit K100b 55

4.4 Hasil pengamatan foto makro komposit K100c 56

4.6 Hasil pengamatan foto makro komposit K150a 57

4.7 Hasil pengamatan foto makro komposit K150b 59

4.8 Hasil pengamatan foto makro komposit K150c 60

4.9 Hasil pengamatan foto makro komposit K200a 62

4.10 Hasil pengamatan foto makro komposit K200b 63

4.11 Hasil pengamatan foto makro komposit K200c 64

4.12 Pengamatan makro abu terbang batubara 65

4.13 Hasil pengamatan foto makro grafit 66

4.14 Hasil pengamatan foto makro NBR 67

4.15 Hasil pengamatan foto makro barium sulfat 68

4.16 Hasil pengamatan foto makro serbuk besi 69

4.17 Hasil pengamatan foto makro *phenolic* 71

4.18 *cross-link* pada *phenolic* 72

4.19 Struktur *cross-link phenolic* 72

4.20 Asumsi ukuran serbuk berbentuk lingkaran pada persegi 73

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

2.1 Komposisi kimia abu terbang batubara 20

3.1 Komposisi bahan penyusun komposit 42

3.2 Jumlah spesimen pengujian ketahanan aus 43

3.3 Format hasil keausan yang akan diperoleh 44

4.1 Hasil pengujian keausan komposit abu terbang batubara/*phenolic* 48

4.2 Hasil rata-rata spesifik abrasi dan standar deviasi spesimen 49

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan material kuat, murah, dan ringan semakin meningkat, komposit dapat menjadi sebuah solusi akan kebutuhan tersebut dimana bahan penyusun komposit ada yang berasal dari alam dan limbah hasil industri. Pemanfaatan bahan-bahan limbah industri seperti limbah hasil pembakaran batubara, ampas tebu, dan sisa industri kayu di Indonesia pada umumnya masih belum dimanfaatkan secara optimal. Penggunaan ampas tebu dan sisa-sisa industri kayu dapat diolah menjadi papan partikel dengan menggunakan bahan perekat seperti urea formaldehid atau tanin formaldehid. Sedangkan untuk bahan buangan dalam bidang pertanian seperti ampas tebu, Pusat Penelitian dan Pengembangan permukiman telah membuat rumah dengan memanfaatkan ampas tebu pada tahun 1967. Sedangkan penggunaan sekam padi untuk pembuatan batu cetak dan papan semen digunakan bahan perekat yang terdiri dari campuran tras, kapur, dan dengan atau tanpa semen Portland (Andriati, 2005).

Abu terbang batubara adalah terminologi untuk abu terbang yang ringan hasil dari pembakaran batubara, abu terbang batubara banyak diproduksi oleh industri-industri besar yang menggunakan bahan bakar seperti PLTU, industri semen, karet dan lain-lain. Di Indonesia produksi abu terbang batubara dari

pembangkit listrik terus meningkat, dimana pada tahun 2000 jumlahnya mencapai 1,66 juta ton dan diperkirakan mencapai 2 juta ton pada tahun 2006. Oleh karena itu, usaha untuk pemanfaatan abu terbang batubara terus dilakukan, diantaranya adalah penyusun beton untuk jalan dan bendungan, Penimbunan lahan bekas pertambangan, bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori, *filler* aspal, plastik, dan kertas, pengganti dan bahan baku semen, aditif dalam pengolahan limbah. (Ngurah Ardha, dkk, 2008).

Pemanfaatan abu terbang batubara juga dapat digunakan dalam pembuatan komposit, komposit adalah gabungan material yang terdiri dari dua atau lebih komponen penyusun, baik secara mikro maupun secara makro yang berbeda bentuk dan komposisi kimianya. Komposit merupakan salah satu jenis material yang saat ini sedang dikembangkan penggunaannya untuk berbagai hal, seperti untuk *body* kendaraan, kampas rem berbagai macam kendaraan dan komponen lain dari kendaraan, juga berbagai macam peralatan yang membutuhkan kekuatan yang tinggi tetapi ringan.

Abu terbang batubara Tarahan mengandung unsur kimia silikat (SiO_2) lebih banyak dibandingkan dengan unsur yang lain, kandungan silikat yang dominan pada abu terbang batubara memungkinkan dapat digunakan untuk bahan material tahan panas karena sifat silikat yang mampu menahan temperatur yang tinggi, dan semakin banyak kandungan kalsium oksida maka semakin tinggi kemampuan untuk mengikat.

Proses pembentukan komposit menggunakan metalurgi serbuk dilakukan dengan cara mencampurkan unsur-unsur serbuk yang dipadukan, kemudian

baru dilakukan pemadatan (Hadrian, 2009). Salah satu bentuk pemadatan komposit yaitu menggunakan *hot pressing* dimana komposit yang akan dibentuk diletakkan dalam cetakan dan disekeliling cetakan diberi pemanas kemudian dilakukan penekanan dengan menggunakan alat pres. Pres dalam keadaan panas akan menjadikan serbuk menjadi lunak/plastis sehingga memudahkan untuk dipadatkan, untuk itu pengaruh suhu pemanasan harus dapat terkontrol agar didapat produk yang homogen. Kepadatan sangat berpengaruh terhadap kekuatan produk yang dihasilkan (Toto, 2009)

Pada penelitian sebelumnya tentang analisis pengaruh ukuran partikel abu terbang batubara terhadap kekuatan mekanik komposit abu terbang batubara menggunakan resin poliester dengan membandingkan ukuran partikel batubara antara 8 mesh dengan 100 mesh, ditemukan hasil bahwa kekuatan bending tertinggi terjadi pada ukuran partikel abu terbang batubara 100 mesh, dengan beban maksimum sebesar 760 N. Hal ini disebabkan bahwa ukuran butir abu terbang batubara semakin kecil akan semakin besar luasan area partikel yang akan diikat oleh matrik, sehingga berpengaruh pada meningkatnya kekuatan bending (Filipus, 2007).

Kemudian penelitian Pratama (2011) tentang analisa sifat mekanik komposit bahan kampas rem dengan variasi komposisi abu terbang batubara batubara, MgO, dan resin memiliki nilai kekerasan tertinggi pada komposisi 20% MgO, 40% resin, dan 40% abu terbang batubara yaitu 77,67 HRB, nilai bending tertinggi pada komposisi 50% MgO, 40% resin, dan 10% abu terbang batubara bernilai 44,41 N/mm^2, untuk laju keausan terendah pada komposisi

20% MgO, 40% resin, 40% abu terbang batubara dengan nilai 2.12 x 10^{-7} gr/mm^2detik. Hal ini disebabkan oleh jumlah komposisi resin lebih banyak daripada komposisi yang lain sehingga berpengaruh terhadap pada laju keausan.

Pada penelitian pengaruh ukuran serbuk kuningan terhadap ketahanan aus, koefisien gesek, dan kekerasan kampas rem, dengan ukuran serbuk kuningan 30 mesh, 40 mesh, dan 50 mesh, diperoleh hasil uji ketahanan aus pada ukuran serbuk 30 mesh sebesar 34,79 mm^3/jam, lalu pada ukuran serbuk 40 mesh didapat hasil sebesar 32,12 mm^3/jam, kemudian pada ukuran serbuk 50 mesh didapat hasil sebesar 29,44 mm^3/jam. Hal ini disebabkan serbuk yang lebih besar memiliki kerapatan yang kurang maksimal dan ikatan antara material serbuk dan penguat kurang baik, sehingga dapat disimpukan bahwa semakin kecil ukuran serbuk maka nilai ketahanan aus meningkat (Husni, 2014).

Pada penelitian Toto (2009) tentang *hot pressing*, pres dalam keadaan panas akan menjadikan serbuk menjadi lunak/plastis sehingga memudahkan untuk dipadatkan dan kepadatan sangat berpengaruh terhadap kekuatan produk yang dihasilkan. Pada penelitian Filipus (2007) terlihat bahwa ukuran serbuk berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit tersebut, semakin kecil akan semakin besar luasan area partikel yang akan diikat oleh matrik. Pada penelitian yang dilakukan Husni (2014) pengaruh ukuran serbuk terhadap ketahanan aus disimpulkan bahwa serbuk yang lebih besar memiliki kerapatan yang kurang maksimal dan ikatan antara material serbuk dan

penguat kurang baik. Berdasarkan beberapa alasan diatas, Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan komposit abu terbang batubara / *phenolic* dengan menggunakan variasi butiran serbuk pada proses *hot pressing*. Sehingga nantinya dapat diketahui pengaruh variasi ukuran serbuk abu terbang batubara terhadap laju keausan komposit abu terbang batubara / *phenolic*.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh ukuran serbuk abu terbang batubara terhadap ketahanan aus komposit abu terbang batubara */ phenolic.*

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi untuk permasalahan berikut ini :

1. Bahan yang akan diuji adalah bahan komposit berbahan dasar abu terbang batubara / *phenolic,* dengan perbandingan 60% *phenolic*, 20% abu terbang batubara, serbuk besi, grafit, 10% barium sulfat, 10% NBR (*Nitril Butadiene Rubber*).
2. Pengujian yang digunakan adalah uji keausan.
3. Ukuran partikel abu terbang batubara yang digunakan adalah 100 mesh, 150 mesh, dan 200 mesh.

1.4. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah:

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri dari latar belakang, tujuan, batasan masalah, sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memuat teori mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini terdiri atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan, dan prosedur pengujian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan hasil dan pembahasan dari data-data yang diperoleh saat pengujian dilaksanakan.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.

LAMPIRAN

Berisikan lampiran yang diperoleh sebagai pendukung dan penyempurnaan laporan tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal. *Composite* berasal dari kata kerja "*to compose*" yang berarti menyusun atau menggabung. Jadi secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis (Jones, 1975).

Dapat dikatakan bahwa komposit adalah gabungan antara bahan matrik atau pengikat yang diperkuat. Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai pengikat dan bahan pendukung sebagai penguat. Bahan penguat dapat dibentuk serat, partikel, serpihan atau juga dapat berbentuk yang lain (Surdia, 1992).

Komposit terdiri dari penguat dan matrik, penguat komposit pada umumnya mempunyai sifat kurang ulet namun lebih kaku dan lebih kuat. Fungsi utama dari penguat sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi

rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit awalnya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada penguat, sehingga penguat akan menahan beban sampai beban maksimum.

Matriks mempunyai kegunaan, sebagai berikut :

1. Mentransfer tegangan ke serat.
2. Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
3. Melindungi serat.
4. Memisahkan serat.
5. Melepas ikatan.
6. Tetap stabil setelah proses manufaktur.

Tujuan dibuatnya komposit yaitu memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu, mempermudah desain yang sulit pada manufaktur, keleluasaan dalam bentuk atau desain yang dapat menghemat biaya produksi, dan menjadikan bahan lebih ringan (Callister, 2007).

Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi dan ketahanan aus. Beberapa definisi komposit sebagai berikut :

1. Tingkat dasar : pada molekul tunggal dan kisi kristal, bila material yang disusun dari dua atom atau lebih disebut komposit (contoh senyawa, paduan, polymer, dan keramik).

2. Mikro struktur : pada kristal, phase, dan senyawa, bila material disusun dari dua Phase atau lebih disebut komposit (contoh paduan Fe dan C).
3. Makro struktur : material yang disusun dari campuran dua atau lebih penyusun makro yang berbeda dalam komposisi, dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit. (Smallman & Bishop, 2000).

Bagian utama dari komposit

a. Reinforcement

Reinforcement (penguat) adalah salah satu bagian utama dari komposit yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit.

1. Komposit partikel (*particulate composites*)

Merupakan komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya. Komposit partikel banyak dibuat untuk bahan baku industri. Proses produksi yang mudah juga menjadi salah satu pertimbangan bila komposit akan diproduksi massal.

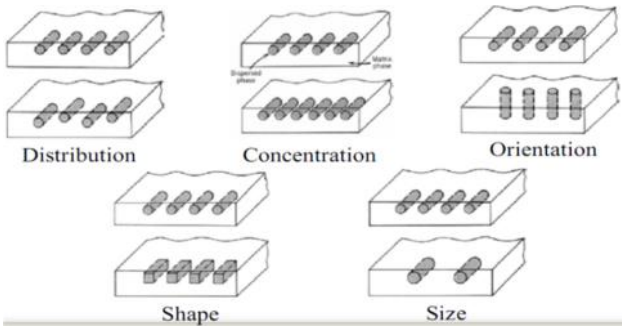
Keuntungan dari komposit yang disusun oleh penguat berbentuk partikel:

1) Kekuatan lebih seragam pada berbagai arah
2) Dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material
3) Cara penguatan dan pengerasan oleh partikulat adalah dengan menghalangi pergerakan dislokasi.

Komposit yang disusun oleh *reinforcement* berbentuk partikel, dimana interaksi antara partikel dan matrik terjadi tidak dalam skala atomik atau molekular. Contohnya *large particle composite* adalah cemet dengan sand atau gravel. Cemet sebagai matriks dan sand sebagai partikel, *sphereodite steel* (*cementite* sebagai partikulat), *tire* (carbon sebagai partikulat), *oxide-base cermet* (oksida logam sebagai partikulat).

2. Fiber sebagai penguat (*fiber composites*)

Komposit yang terdiri dari serat dan matriks. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Parameter fiber dalam pembuatan komposit seperti pada gambar 2.1.

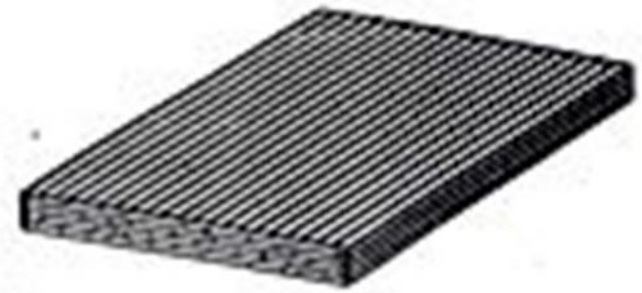


Gambar 2.1. Parameter fiber dalam pembuatan komposit. (Gibson, 1994)

Jenis komposit serat terbagi menjadi 4 macam, sebagai berikut :

1) *Continuous fiber composite*

Continuous atau *uni-directional*, memiliki susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya seperti pada gambar 2.2. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.



Gambar 2.2. *Continuous fiber composite*. (Gibson, 1994)

b. *Woven Fiber Composite*

Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan ditunjukkan pada gambar 2.3. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continuous fiber*.

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

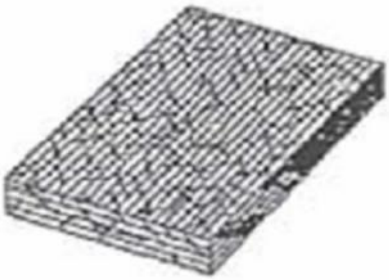
c. *Chopped fiber composite*

Merupakan tipe komposit dengan serat pendek seperti terlihat pada gambar 2.4.

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

d. Hybrid fiber composite

Merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak seperti terlihat pada gambar 2.5. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihannya.

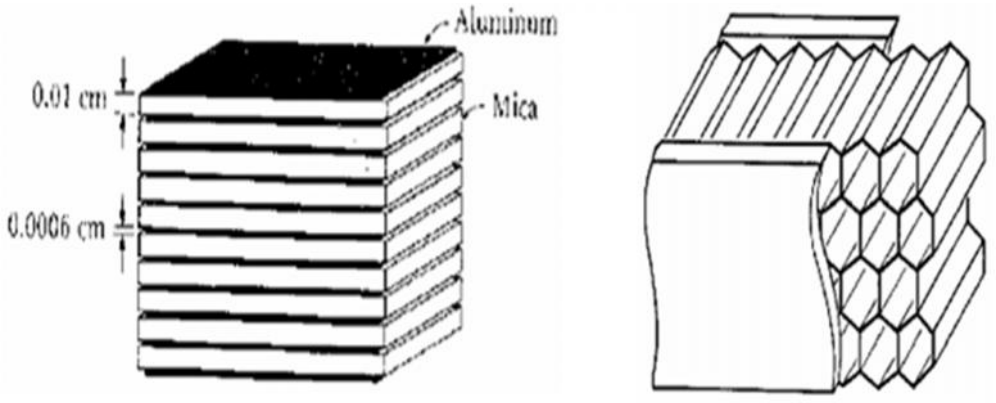


Gambar 2.5. *Hybrid fiber composite*. (Gibson, 1994)

3. Fiber sebagai sturktural (*structute composites*)

Komposit struktural dibentuk oleh *reinforce-reinforce* yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan struktur, komposit dapat

dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminate* dan struktur *sandwich*. Ilustrasi struktural pada gambar 2.6.



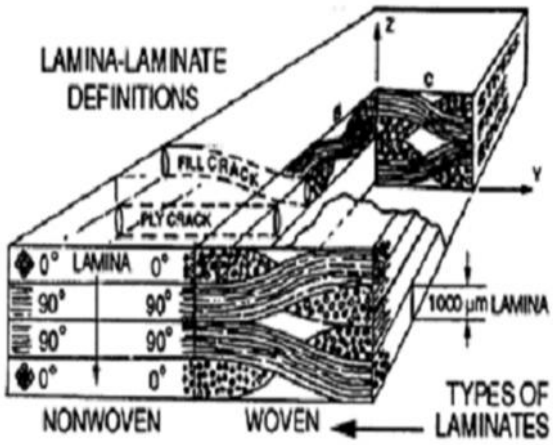
(a) (b)

Gambar 2.6. Ilustrasi komposit berdasarkan Strukturnya :
(a). *Struktur laminate* dan (b). *Sandwich panel* (Gibson, 1994)

a. Laminate

Laminate adalah gabungan dari dua atau lebih lamina (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit. Proses pembentukan lamina ini menjadi *laminate* dinamakan proses laminai. Sebagai elemen sebuah struktur, lamina yang serat penguatnya searah saja (*unidirectional lamina*) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminate* yang terdiri dari beberapa macam lamina atau lapisan yang diorientasikan dalam arah yang diinginkan dan

digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur. Mikrostruktur lamina dan jenis-jenis dari arah serat dapat dilihat pada gambar 2.7.



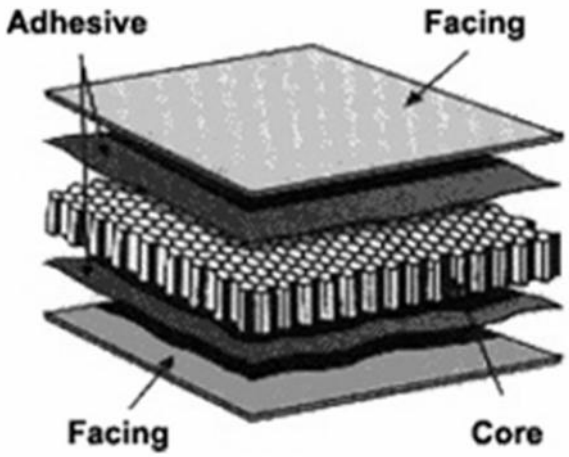
Gambar 2.7. Mikrostruktur lamina. (Widodo, 2008)

b. Sandwich panels

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite* (*metal sheet*) sebagai kulit permukaan (*skin*) serta meterial inti (core) di bagian tengahnya (berada di antaranya) seperti pada gambar 2.8. *Core* yang biasa dipakai adalah *core import*, seperti *polyuretan* (PU), *polyvynil Clorida* (PVC), dan *honeycomb*. Komposit sandwich dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehinggga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua skin dipasang *core*.

Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, impak, meredam getaran dan suara.

Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan. Dengan menggunakan material inti yang sangat ringan, maka akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat kuat, ringan, dan kaku. Komposit sandwich dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural bagian internal dan eksternal pada kereta, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya.



Gambar 2.8. *Structural composites sandwich panels.*

(http://www.*engineredmaterialsinc*.com)

b. Matriks

Berdasarkan matrik, komposit dapat diklasifikasikan kedalam tiga kelompok besar yaitu:

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

Komposit ini bersifat :

1) Biaya pembuatan lebih rendah dan dapat dibuat dengan produksi massal.
2) Ketangguhan baik.
3) Siklus pabrikasi dapat dipersingkat dan kemampuan mengikuti bentuk lebih ringan.

Jenis polimer yang banyak digunakan :

1. *Thermoplastic*

   *Thermoplasti*c adalah *plastic* yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. *Thermoplastic* merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. *Thermoplastic* meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversibel*) kepada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan. Contoh dari *thermoplastic* yaitu Poliester, Nylon 66, PP, PTFE, PET, Polieter sulfon, PES, dan Polieter eterketon (PEEK).

2. *Thermoset*

   Thermoset tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakkan termoset melainkan akan membentuk arang dan terurai karena sifatnya yang sering digunakan sebagai tutup ketel, seperti jenis-jenis melamin. Plastik jenis termoset tidak begitu menarik dalam proses daur ulang karena selain sulit penanganannya juga volumenya jauh lebih sedikit

(sekitar 10%) dari volume jenis plastik yang bersifat termoplastik. Contoh dari thermoset yaitu Epoksida, Bismaleimida (BMI), dan Poli-imida (PI).

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

   Komposit Matrrik Logam adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matrik logam. Material MMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah *continous filamen* MMC yang digunakan dalam aplikasi aerospace.

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

   CMC merupakan material 2 fasa dengan 1 fasa berfungsi sebagai *reinforcement* dan 1 fasa sebagai matriks, dimana matriksnya terbuat dari keramik. *Reinforcement* yang umum digunakan pada CMC adalah oksida, carbide, dan nitrid. Salah satu proses pembuatan dari CMC yaitu dengan proses DIMOX, yaitu proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matriks keramik disekeliling daerah filler (penguat).

2.2 Abu Terbang Batubara

Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta ditangkap dengan mengunakan *elektrostatic precipitator*. Abu terbang batubara merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik.

Abu terbang batubara 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 abu terbang batubara umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel abu terbang batubara yang terkumpul pada *presipitator elektrostatik* biasanya berukuran (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). (Koesnadi, Heri, 2008)

Pemanfaatan dan peningkatan kualitas salah satu limbah industri pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yaitu Abu terbang batubara yang tersedia dalam jumlah sangat banyak mampu menjawab dua isu, yaitu mampu untuk membantu mengatasi krisis energi dan polusi udara (meningkatkan efisiensi pembakaran), juga dapat mengatasi permasalahan besar yang sedang dihadapi industri-industri tersebut. Sebagai contoh, PLTU Tarahan yang memiliki 2 unit pembangkit berkapasitas 100 MW per unit menggunakan batu bara sebanyak 40 ton/jam per unit. Pembakaran batu bara dihasilkan sekitar 5 % polutan padat berupa abu (abu terbang batubara dan *bottom ash*), dimana sekitar 10-20% adalah *bottom ash* dan 80-90% abu terbang batubara dari total abu yang dihasilkan. Dengan demikian, berdasarkan pernyataan di atas, setiap harinya PLTU tarahan menghasilkan abu terbang batubara sebanyak 5% x 80 ton/jam x 24 jam/hari x 80% = 76,8 ton/hari. Artinya, semakin hari akan semakin besar lahan yang dibutuhkan (Wardani, 2008)

a. Sifat-sifat Abu terbang batubara

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

1. Sifat Fisik

Abu terbang merupakan material yang dihasilkan 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. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain: Warna: abu-abu keputihan, Ukuran butir: sangat halus yaitu sekitar 88 %.

2. Sifat Kimia

Komponen utama dari abu terbang batubara yag berasal dari pembangkit listrik adalah silikat (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang, dengan komposisi kimia pada tabel 2.1. 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 dari pada bituminus. 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/m^3 dan luas area spesifiknya antara 170-1000 m^2/kg. (Koesnadi, 2008)

Tabel 2.1. Komposisi kimia abu terbang batubara

Komponen	**Bituminous**	**Sub-bituminous**	**Lignite**
SiO_2	20-60%	40-60%	15-45%
Al_2O_3	5-35%	20-30%	10-25%
Fe_2O_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_2O	0-4%	0-2%	0-6%
K_2O	0-3%	0-4%	0-4%
LOI	0-15%	0-3%	0-5%

(Sumber : Koesnadi, 2008)

b. Jenis-jenis abu terbang batubara

Ada beberapa jenis abu terbang batubara menurut SNI-S-15-1990-F tentang spesifikasi abu terbang batubara sebagai bahan tambahan untuk campuran beton, abu terbang batubara digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Kelas N

   Buangan atau pozolan alam terkalsinasi yang dipenuhi dengan kebutuhan yang memenuhi syarat yang dapat dipakai sesuai kelasnya, seperti beberapa tanah *diatomaceous, opalinse chert* dan serpihan-serpihan *tuff* dan debu-debu vulkanik atau *pumicities,* dan bahan-bahan lainnya yang mungkin masih belum terproses oleh kalsinasi.

2. Kelas F

   Abu batubara yang umumnya diproduksi dari pembakaran *anthracite* (batubara keras yang mengkilat) atau bitumen-bitumen batubara yang memenuhi syarat-syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan.

3. Kelas C

   Abu batubara yang umumnya diproduksi dari *lignite* atau batubara subitumen yang memenuhi syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan. Abu batubara kelas ini, selain memiliki sifat pozzolan juga memiliki beberapa sifat yang lebih menyerupai semen. Untuk beberapa abu batubara kelas C bisa mengandung kapur lebih tinggi dari 10% (Andriati, 2005).

2.3 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan salah satu teknik produksi dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan. Prinsip ini adalah memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang dinginkan dan kemudian memanaskannya di bawah temperatur leleh. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*).

Proses metalurgi serbuk adalah merupakan proses pembuatan produk dengan menggunakan bahan dasar dengan bentuk serbuk yang kemudian disinter yaitu proses konsolidasi serbuk pada temperatur tinggi yang di dalamnya termasuk juga proses penekanan atau kompaksi.

Proses metalurgi serbuk memiliki banyak keuntungan antara lain :

1. Efisiensi pemakaian bahan yang sangat tinggi dan hampir mencapai 100%
2. Tingkat terjadinya cacat seperti segregasi dan kontaminasi sangat rendah.
3. Stabilitas dimensi sangat tinggi.
4. Kemudahan dalam proses standarisasi dan otomatisasi
5. Tidak menimbulkan tekstur pada produk.
6. Besar butir mudah dikendalikan
7. Mudah dalam pembuatan produk beberapa paduan khusus yang susah didapatkan dengan proses pengecoran (*casting*).
8. Porositas produk mudah dikontrol .

9. Cocok untuk digunakan pada material dengan kemurnian tinggi.
10. Cocok untuk pembuatan material komposit dengan matriks logam.

Sangat penting menentukan sifat mekanis dari hasil kompaksi serbuk serta karakteristik-karakteristik lainnya yang meliputi ukuran serbuk, berat jenis serbuk, mampu alir serbuk (*flowability*), dan mampu tekan serbuk (*compressability*), kemampuan sinter (Maulana, 2012).

a. Ukuran Serbuk

Metoda untuk menentukan ukuran serbuk antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir, faktor ini berhubungan dengan luas kontak antar permukaan, butir kecil mempunyai porositas yang kecil dan luas kontak antar permukaan besar sehingga difusi antar permukaan juga semakin besar dan kompaktibilitas juga tinggi.

b. Distribusi Ukuran dan Mampu Alir

Distribusi ukuran partikel adalah pengelompokan besar partikel dalam berbagai ukuran yang bertujuan untuk menghasilkan pengukuran kerapatan maksimum suatu partikel. Distribusi partikel ini sangat berpengaruh terhadap kemampuan saling isi partikel untuk mendapatkan volume terpadat. Dengan distribusi ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari ukuran standar dalam serbuk tersebut. Pengaruh distribusi terhadap mampu alir dan porositas produk cukup besar. Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak.

c. Sifat Kimia

Terutama menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya. Pada metalurgi serbuk diharapkan tidak terjadi reaksi kimia antara matrik dan penguat.

d. Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan volume serbuk dengan volume benda yang ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir, kekuatan tekan tergantung pada kompresibilitas. Mampu tekan menunjukan bahwa densitas merupakan fungsi dari tekanan yang diberikan. Serbuk yang halus akan memiliki mampu tekan yang lebih tinggi dari pada serbuk yang kasar. Mampu tekan serbuk juga dipengaruhi oleh efek gesekan antar partikel.

e. Kemampuan Sinter

Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan dua per tiga dari titik lelehnya.

2.4 Pencampuran dan Pembentukan Serbuk

Kualitas produk sangat dipengaruhi kehomogenan komponen penyusun bahan melalui proses pencampuran atau yang juga biasa disebut sebagai proses kalsinasi. Pencampuran dapat dilakukan dengan proses kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*). Cara pencampuran basah (*wet mixing*) adalah cara yang lebih banyak dipakai yaitu dengan menggunakan pelarut organik untuk mengurangi pengaruh atmosfir yang menyebabkan peristiwa oksida. Proses pencampuran ada dua macam yaitu *blending* (proses yang bertujuan

untuk menyamakan ukuran butiran) dan *mixing* (proses pencampuran yang bertujuan agar butiran merata secara kimia). Pencampuran juga dapat dilakukan dalam keadaan kering (*dry mixing*) dan basah (*wet mixing*). Gambar 2.9 menunjukkan proses pencampuran dua jenis serbuk yang berbeda disertai proses *compacting* dan *sintering*. Komposisi paduan tersebut dicampur dengan perbandingan jumlah yang sesuai agar didapatkan pencampuran homogen (Maulana, 2012).

Gambar 2.9. Partikel yang dibentuk hasil pencampuran (Hadrian, 2009)

a. *Compacting*

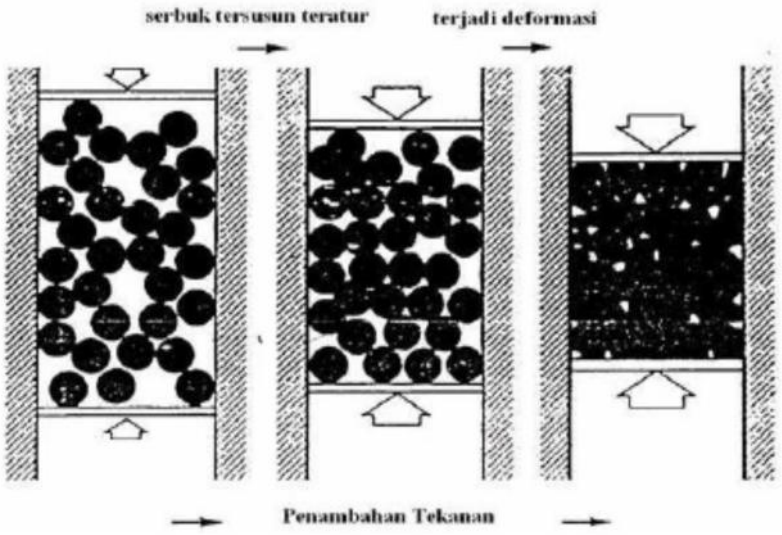
Penekanan adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya penekanan dingin (*cold compaction*) dan penekanan panas (*hot compaction*). Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses sintering. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode metalurgi serbuk, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya interlocking antar permukaan, interaksi adesi-kohesi, dan difusi antar permukaan.

Untuk yang terakhir ini (difusi) dapat terjadi pada saat dilakukan proses sintering.

Secara singkat penyebab ikatan bahan serbuk tersebut dijelaskan sebagai berikut:

4. *Interbacking*, yaitu terjadi ikatan akibat kekerasan permukaan serbuk.
5. *Adhesi – kohesi*, yaitu suatu interaksi akibat adanya ikatan logam dan ikatan *vander walls* pada butiran serbuk.

Ikatan *vander walls* terjadi akibat adanya fluktuasi dipole pada atom dan butir-butir serbuk. Dan besarnya gaya *vander walls* ini dipengaruhi oleh bentuk butir serbuk akibat proses kompaksi. Bentuk benda yang dikeluarkan dari pressing disebut bahan kompak mentah, telah menyerupai produk akhir, akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir bahan diperoleh setelah proses sintering (Maulana, 2012). Proses pemadatan serbuk saat penekanan (*compacting*) ditunjukkan pada gambar 2.10.

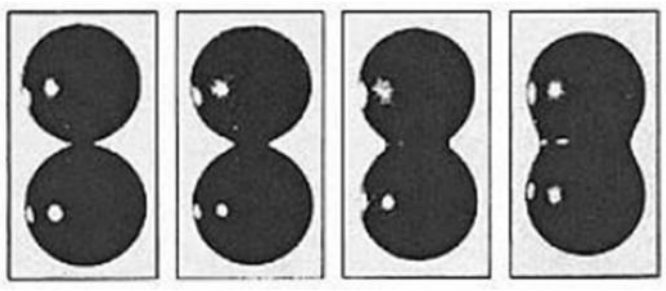


Gambar 2.10. Proses Penekanan Serbuk (Hadrian, 2009)

b. *Sintering*

Sintering adalah salah satu tahapan metodologi yang sangat penting dalam ilmu bahan, terutama untuk bahan keramik. Selama sintering terdapat dua fenomena yang terjadi, pertama adalah penyusutan (*shrinkage*) yaitu proses eliminasi porositas dan yang kedua adalah pertumbuhan butiran. Fenomena yang pertama dominan selama pemadatan belum mencapai kejenuhan, sedang kedua akan dominan setelah pemadatan mencapai kejenuhan. Parameter sintering diantaranya adalah temperatur, waktu penahanan, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan dan atmosfir.

Dari segi cairan, sintering dapat menjadi dua yaitu *sintering* fasa padat dan *sintering* fasa cair. *Sintering* dengan fasa padat adalah *sintering* yang dilaksanakan pada suatu temperatur yang telah ditentukan, dimana dalam bahan semuanya tetap dalam fasa padat. Proses penghilangan porositas dilakukan melalui perpindahan massa. Jika dua partikel digabung dan dipanaskan pada suhu tertentu, dua partikel ini akan berikatan bersama-sama dan akan membentuk *neck*. Pertumbuhan disebabkan oleh perpindahan yang meliputi evaporasi, kondensasi, difusi. Gambar 2.11 menunjukkan terjadinya proses *sintering* (Maulana, 2012).



Gambar 2.11. Skema terjadinya proses *sintering* (Maulana, 2012)

2.5 Keausan

Keausan dapat diartikan terlepasnya material atau atom dari permukaan material akibat dari derformasi plastis dan aksi mekanik. Keausan dapat menyebabkan perubahan bentuk benda kerja sehingga akan mengakibatkan ukuran dan kualitas material akan mengalami penurunan. Masalah yang diakibatkan dari keausan adalah komponen yang mengalami keausan harus terus menerus diperbaiki atau diganti (Amrudin,1995).

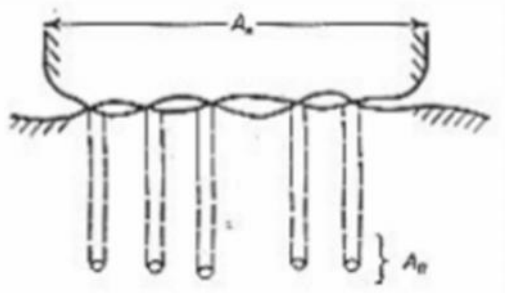
Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam (Yuwono, 2009).

Sebagaimana telah disebutkan, material jenis apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam yaitu :

1) Keausan *Adhesive*

   Terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan satu sama lain dan pada akhirnya terjadi pelepasan / pengoyakan salah satu material, seperti diperlihatkan pada gambar 2.12. Mekanisme keausan *adhesive* ini terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar logam. Karena disebabkan oleh adanya pergerakan relatif maka akan terjadi perpatahan pada daerah yang lemah dan dengan adanya gesekan selanjutnya menyebabkan bagian yang menempel pada permukaan yang

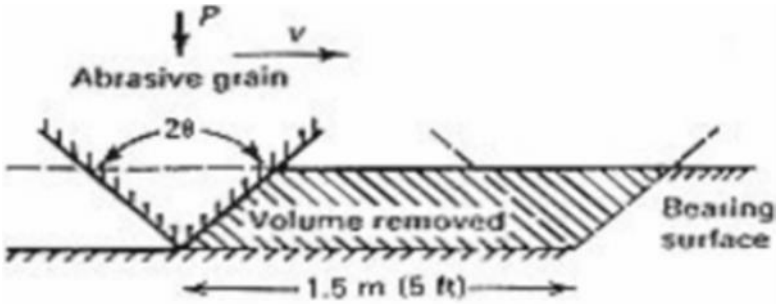
lebih keras akan terpotong-potong oleh puncak-puncak kekerasan di sekitarnya, sehingga akan meninggalkan serpihan yang disebut dengan keausan.



Gambar 2.12. Ilustrasi skematis keausan *adhesive* (Yuwono, 2009)

2) Keausan Abrasif

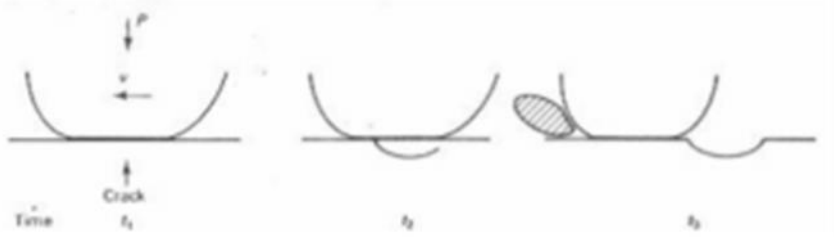
Keausan abrasif adalah keausan yang terjadi bila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lenih lunak, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2.13. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras tersebut. Sebagai contoh partikel pasir silika akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada suatu permukaan seperti pada kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada didalam sistem *slury*. Pada kasus pertama partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan mengakibatkan pengoyakan sementara pada kasus terakhir partikel tersebut mungkin hanya berputar tanpa efek abrasi



Gambar 2.13. Ilustrasi skematis keausan abrasif (Yuwono, 2009)

3) Keausan Lelah

Merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan *adhesive* maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi sementara pada keausan lelah dibutuhkan interaksi multi. Gambar 2.14 memberikan skematis keausan lelah. Permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro (t_1). Retak-retak tersebut akhirnya menyatu (t_2) dan menghasilkan pengelupasan material (t_3). Tingkat keausan sangat tergantung pada tingkat pembebanan.

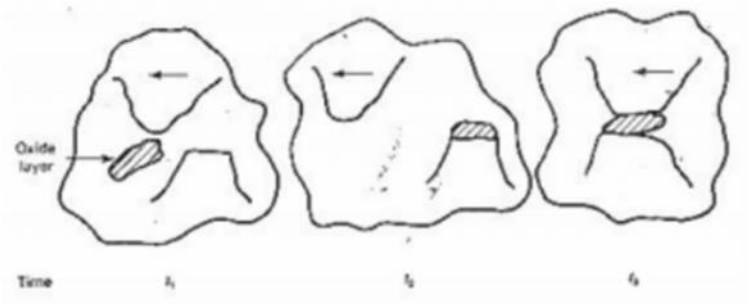


Gambar 2.14. Ilustrasi skematis keausan lelah (Yuwono, 2009)

4) Keausan Oksidasi

Seringkali disebut keausan korosi. Pada prinsipnya mekanisme ini dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material dibagian permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini akan menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material pada lapisan permukaan

akan mengalami keausan yang berbeda. Hal ini selanjutnya mengarah kepada perpatahan *interface* antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut. Gambar 2.15 memperlihatkan skematis mekanisme keausan oksidasi/korosi ini (Yuwono, 2009).



Gambar 2.15. Ilustrasi skematis keausan oksidasi (Yuwono, 2009)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan dilaboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung dan laboratorium uji material kampus baru Universitas Indonesia Depok.

3.2 Alat dan Bahan yang digunakan

1. Alat yang digunakan untuk penelitian yaitu sebagai berikut :

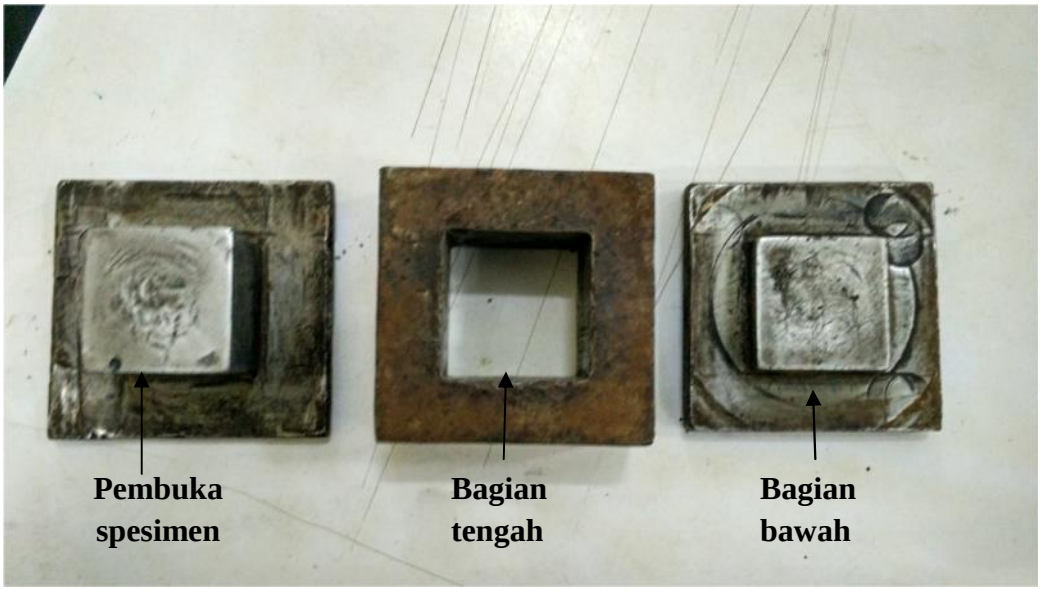
   a. Saringan ayakan

      Pada gambar 3.1 merupakan saringan ayakan yang digunakan untuk mendapatkan ukuran mesh abu terbang batubara.

Gambar 3.1 Saringan ayakan 100, 150, 200 mesh

b. Cetakan

Cetakan yang digunakan berbentuk seperti balok untuk mencetak bahan dengan ukuran dimensi yang sudah ditentukan. Cetakan pada gambar 3.2 adalah yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.2. Cetakan

c. Timbangan digital

Sebagai alat untuk menimbang berat abu terbang batubara, *phenolic*, grafit, NBR, serbuk besi, dan BaSo4, sebelum melakukan pencampuran /*mixing* pada pembuatan komposit seperti terlihat pada gambar 3.3.

Gambar. 3.3. Timbangan digital

d. *Mixer*

Mixer digunakan sebagai pencampuran bahan-bahan seperti abu terbang batubara, *phenolic*, grafit, NBR, serbuk besi, dan BaSo4 untuk mendapatkan komposisi yang seragam. Pada gambar 3.4 adalah *mixer* yang digunakan dengan modifikasi pada tempat pencampurannya.

Gambar 3.4. *mixer*

e. *oven*

oven ini digunakan sebagai pemanas pengatur temperatur dicetakan spesimen pada proses pembuatan komposit . *oven* ini memiliki temperatur pemanasan hingga temperatur 250˚C, berikut ini pada gambar 3.5 adalah gambar *oven* yang digunakan.

Gambar 3.5. *Oven*

f. Dongkrak hidrolik

Untuk mempresskan komposit didalam cetakan agar spesimen menjadi padat. Gambar 3.6 adalah alat press yang digunakan untuk pembentukan komposit.

Gambar 3.6 Dongkrak hidrolik

g. *Furnace*

Digunakan untuk proses *curing* (perlakuan panas komposit) dimana material komposit dipanaskan dengan temperatur dan waktu tertentu. Gambar 3.7 merupakan *furnace* yang digunakan dalam penelitian ini.

Gambar 3.7. *Furnace*

h. 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 3.8 merupakan mesin uji ketahanan aus yang digunakan dalam penelitian ini.

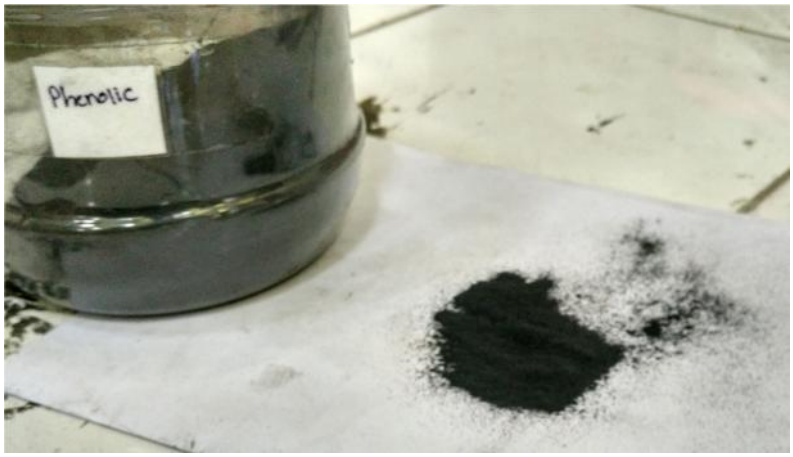
Gambar 3.8. *Ogoshi high speed universal wear testing machine*

2. Bahan yang digunakan untuk penelitian sebagai berikut :

a. *Phenolic* resin

Pada gambar 3.9 merupakan *phenolic* resin yang digunakan sebagai matrik pada komposit, bahan ini berupa serbuk berwarna hitam yang

memiliki ketahanan panas yang baik. *Phenolic* digunakan sebagai bahan utama untuk membuat spesimen. Resin ini mampu tahan pada temperatur tinggi (*thermoset*), sampai 200^0C.



Gambar 3.9. *Phenolic resin*

b. Abu terbang batubara

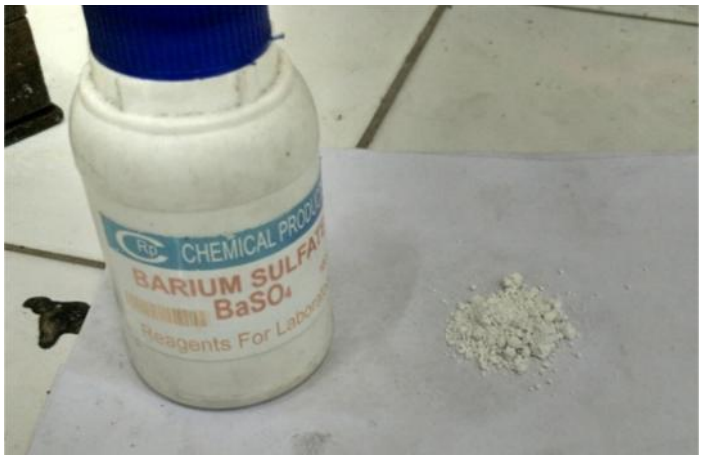
Abu terbang batubara pada gambar 3.10 digunakan sebagai penguat pada bahan komposit dan juga sebagai bahan utama yang digunakan untuk membuat spesimen

.

Gambar 3.10. Abu terbang batubara

c. Barium sulfat (BaSO4)

Barium sulfat (BaSO4) dapat meningkatkan kerapatan massa dan dapat meningkatkan ketahanan pada temperatur tinggi serta dapat mengurangi tingkat keausan. Di indonesia, barium sulfat dalam bentuk serbuk berwarna putih seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. BaSO4 (Barium Sulfat)

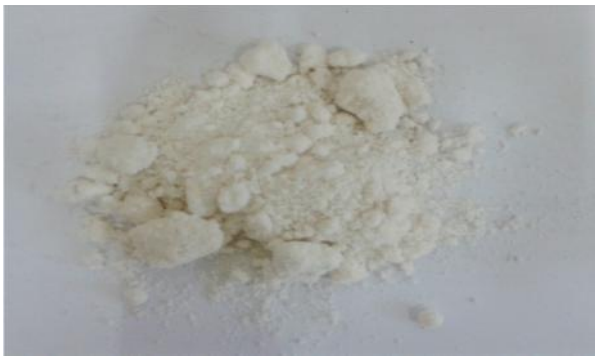
d. Grafit

Grafit merupakan bentuk kristalin karbon berbentuk serbuk dan berwarna hitam, grafit termasuk bahan *friction modifier* tingkat gesekan grafit kelembaban dan strukturnya. Penambahan grafit dapat meningkatkan ketahanan aus serta dapat mempengaruhi koefisien gesek.

Gambar 3.12. Grafit

e. NBR *(Nitril Butadiene Rubber)*

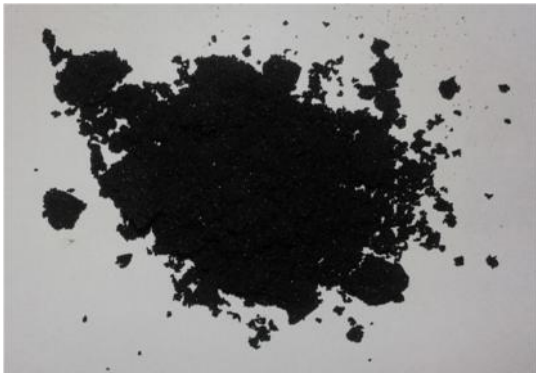
NBR digunakan untuk mengurangi kekerasan, NBR dipilih menjadi bahan penyusun komposit karena NBR memiliki ketahanan thermal yang baik dibandingkan dengan jenis karet lainnya.



Gambar 3.13 NBR *(Nitril Butadiene Rubber)*

f. Serbuk besi

Serbuk besi yang berwarna hitam dengan massa jenis besi besar sehingga dengan kadar yang sama dengan komponen penysun lainnya, volume besi ini relatif lebih kecil. Serbuk ini ditambahkan sebagai material gesek agar dapat memperbaiki karakteristik thermal komposit. Serbuk besi memiliki konduktivitas thermal dan difusivitas thermal yang baik.



Gambar 3.14 Serbuk besi

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur dalam penelitian ini menjadi beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

1. **Tinjauan Pustaka**

   Pada proses penelitian yang dilakukan yaitu dengan pengumpulan data awal. Tinjauan pustaka bertujuan untuk mengenali masalah yang ada dalam penelitian dan juga menyusun rencana untuk kerja penelitian yang dilakukan. Pada tahap awal dilakukan langkah-langkah seperti *survey* lapangan yaang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan serta mengambil data-data penelitian yang sudah ada sebagai pembanding terhadap hasil pengujian yang akan dianalisa.

2. **Melakukan persiapan pemilihan serbuk**

   Serbuk yang digunakan pada penelitian ini memiliki bermacam-macam. Langkah-langkah dalam persiapan serbuk ini sebagai berikut :

   a. Memilih serbuk yang digunakan dalam proses penelitian.
   b. Mengayak serbuk abu terbang batubara dengan ayakan 100 mesh, 150 mesh, dan 200 mesh.
   c. Menimbang berat dari masing-masing serbuk sesuai komposisi yang akan digunakan untuk membuat spesimen.
   d. Setelah semua serbuk yang akan digunakan telah ditimbang sesuai komposisi pembuatan spesimen, selanjutnya semua serbuk dicampurkan.

3. Proses pencampuran komposit

Pada proses pembuatan komposit memiliki langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut :

a. Mencampurkan (*mixing*) serbuk menjadi satu dengan menggunakan *mixer* dengan lama pencampuran 20 menit, sehingga mendapatkan campuran yang homogen. Kemudian dilakukan proses pembuatan spesimen sesuai bentuk pada cetakan

b. Pencampuran untuk proses pembuatan spesimen uji keausan, matriks yang digunakan adalah resin *phenolic*. Resin ini memiliki warna hitam pekat dan berbentuk serbuk. Resin ini digunakan karna memiliki ketahanan temperatur tinggi. Komposisi matriks yang digunakan sebanyak 60%.

c. Bahan penguat yang digunakan adalah serbuk besi (Fe), grafit, dan abu terbang batubara yang digunakan dalam komposisi penyusun adalah sebesar 20%.

d. Bahan pengisi sekaligus penyangga digunakan dalam pembuatan komposit ini adalah barium sulfat ($BaSO_4$). Barium sulfat ($BaSO_4$) memiliki fungsi memperbaiki ketahanan matriks phenolic terhadap temperatur tinggi. Komposisi barium sulfat ($BaSO_4$) sebanyak 10%.

e. Bahan pengikat yang digunakan adalah NBR *(nitrile butadiene rubber)*. NBR digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas komposit dan memiliki ketahanan thermal yang baik dibandingkan dengan jenis karet yang lain. Komposisi NBR yang digunakan sebanyak 10%. Secara rinci ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi bahan penyusun komposit

Bahan penyusun komposit	komposisi komposit (%)
Phenolic resin	60
Fly ash, serbuk besi (Fe), Grafit	20
Barium Sulfat ($BaSO_4$)	10
NBR *(Nitrile Butadiene Rubber)*	10

4. Pembuatan spesimen uji

a. Proses Pemanasan

Setelah menyiapkan bahan penyusun komposit yang berupa *phenolic* resin, abu terbang batubara, BaSo4 (Barium sulfat), grafit, NBR, dan serbuk besi 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. Kemudian memanaskan komposit dengan temperatur 250^{o} C kedalam *oven* selama 30 menit.

b. Proses Penekanan

Setelah bahan dalam cetakan selesai dipanaskan selama 30 menit, cetakan langsung dikeluarkan dari *oven* yang kemudian langsung diletakkan pada dongkrak hidrolik selanjutknya diberi tekanan 60 MPa selama 15 menit.

c. Proses *curing*

Setelah proses penekanan selesai selanjutnya adalah proses *curing* pada proses ini spesimen komposit dipanaskan dengan menggunakan *furnace* selama 4 jam dengan temperatur 150^{o} C. Selanjutnya mengamplas spesimen agar permukaan yang akan diuji keausan memiliki permukaan yang rata dan halus, selanjutnya memberi label (Kode spesimen). Pada tabel 3.2 jumlah spesimen yang digunakan sebanyak 9 dengan masing-masing variasi terdapat 3 spesimen, K100 merupakan komposit yang menggunakan ukuran serbuk 100 mesh, K150 merupakan komposit yang menggunakan ukuran serbuk 150 mesh, dan K200 merupakan komposit yang menggunakan ukuran serbuk 200 mesh

Tabel 3.2. Jumlah spesimen pengujian ketahanan aus sebagai berikut :

Pengujian	Jumlah spesimen komposit		
Ketahanan aus	K100	K150	K200
	3	3	3

d. Pengujian Keausan

Setelah material jadi melalui proses sebelumnya, selanjutnya material dilakukan pengujian keausan dengan mesin uji *ogoshi* untuk mengetahui nilai keausan pada masing-masing material. Pada tabel 3.3 merupakan format hasil keausan yang akan diperoleh.

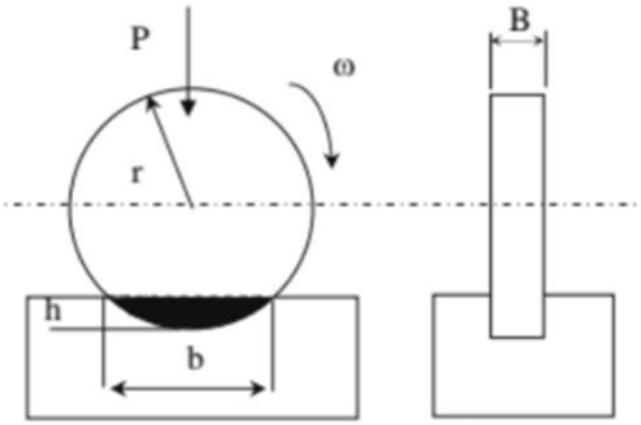
Tabel 3.3. Format hasil Keausan yang akan diperoleh :

Kode sampel	**Lebar (b) [mm]**	**Tebal Cincin (B) [mm]**	**(d) [mm]**	**Beban (P) [Kg]**	**Jarak Luncur (x) [m]**	**Kecepatan [m/s]**	**Spesifik abrasi [mm^3/mm]**
K100a							
K100b							
K100c							
Rata-rata							
K150a							
K150b							
K150c							
Rata-rata							
K200a							
K200b							
K200c							
Rata-rata							

Pengujian 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 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 terlepas dari benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan pada gambar 3.15 (Yuwono, 2009)



Gambar 3.15. Ilustrasi pengujian keausan (Yuwono, 2009)

Keterangan :

P : Beban

r : jari- jari *revolving disk*

B : Tebal *revolving disk*

h : Kedalaman bekas injakan

b : Lebar bekas injakan

ω : Kecepatan putar

Rumus uji keausan yaitu sebagai berikut :

$$W_S = \frac{B.b^3}{12\,r.x} \quad \text{.....(3.1)}$$

Dimana:

B = lebar piringan pengaus (mm)

b = lebar keausan pada benda uji (mm)

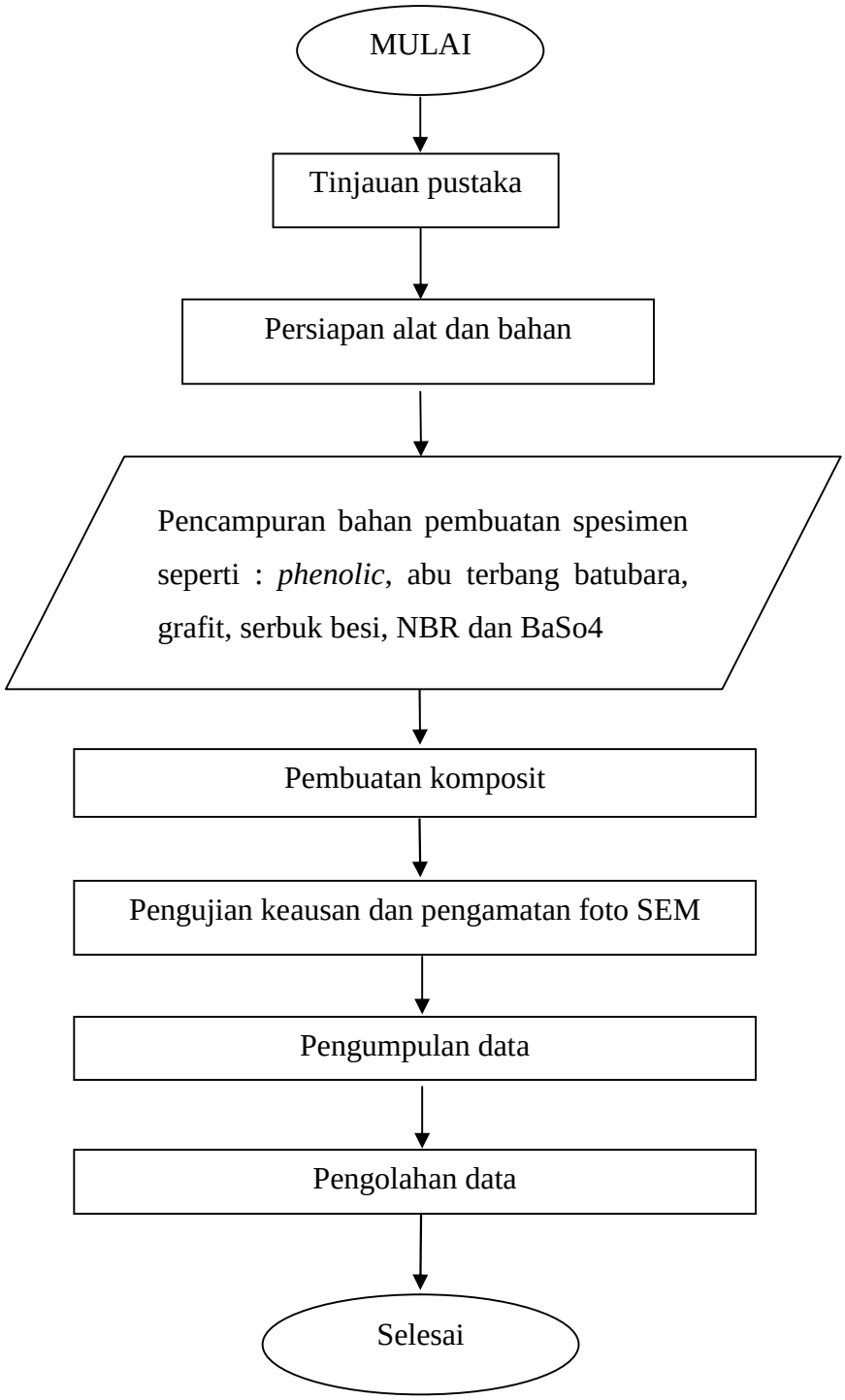
r = jari-jari piringan pengaus (mm)

x = jarak luncur (m)

Ws = harga keausan spesifik (mm^3/mm)

3.4 Alur proses Penelitian

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



Gambar 3.16. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan data hasil pengujian ketahanan aus komposit abu terbang batubara/*phenolic*, didapat beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Pada pengujian keausan komposit abu terbang batubara diperoleh nilai spesifik abrasi yang bervariasi, setelah diambil nilai rata-rata, komposit pada ukuran serbuk abu terbang batubara 100 mesh diperoleh hasil spesifik abrasi sebesar $14{,}589\times10^{-6}$ mm^3/mm, pada ukuran serbuk abu terbang batubara 150 mesh diperoleh hasil spesifik abrasi sebesar $19{,}987\times10^{-6}$ mm^3/mm, pada ukuran serbuk abu terbang batubara 200 mesh diperoleh hasil spesifik abrasi sebesar $12{,}782\times10^{-6}$ mm^3/mm.
2. Ukuran serbuk abu terbang batubara 200 mesh memiliki ketahanan aus terbaik pada penelitian ini, yang membuktikan bahwa ukuran serbuk berpengaruh terhadap sifat mekanik suatu material, kecilnya ukuran serbuk abu terbang batubara inilah yang membuatnya dapat tersebar dan terikat dengan baik pada bahan lain dan mengisi rongga pada komposit..

3. Pada pengamatan foto makro dapat dilihat pada komposit yang menggunakan serbuk abu terbang batubara ukuran 100 mesh dan 150 mesh masih terdapat banyak *void*, *crack*, dan aglomerat sehingga nilai yang dihasilkan menjadi kurang maksimal. Pada komposit yang menggunakan serbuk ukuran 150 mesh dipermukaan spesimen terdapat banyak grafit yang disebabkan kurang meratanya distribusi serbuk. Pada komposit yang menggunakan ukuran serbuk abu terbang batubara 200 mesh terlihat padat dan seluruh bahan penyusun komposit merata kesemua bagian komposit, hal ini yang membuat beban yang diterima dapat diteruskan keseluruh bagian komposit sehingga sifat mekaniknya meningkat. Serbuk berukuran 200 mesh memiliki luas sebaran yang lebih baik dibanding serbuk 100 mesh dan 150 mesh, sehingga pada komposit yang menggunakan serbuk ukuran 200 mesh kegagalan komposit berkurang yang membuat nilai ketahanan aus dari komposit 200 mesh lebih tinggi dibanding komposit dengan serbuk 100 mesh dan 150 mesh.

5.2. Saran

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

1. Pada proses *hot pressing* pembuatan komposit, proses pemanasan dan penekanan komposit dilakukan secara bersamaan agar komposit yang dibuat dapat lebih maksimal hasilnya.
2. Pada proses pengayakan serbuk, sebaiknya semua bahan penyusun diayak juga untuk mendapatkan keseragaman ukuran serbuk.
3. Perlu dilakukan pengujian dan pengamatan struktur mikro lebih detail dan lebih lanjut agar dapat diketahui fenomena secara mikro yang terjadi di dalam komposit.
4. Pada proses pembuatan komposit, disetiap tahap proses pembuatannya harus dilakukan secara cermat dan tepat, agar komposit yang dibuat dapat optimal sesuai yang diharapkan.
5. Perlu adanya penambahan waktu proses *mixing* untuk mendapatkan sebaran serbuk yang lebih merata.

DAFTAR PUSTAKA

Andriati. 2005. *Pemanfaatan Limbah Untuk Bahan Bangunan.* Jakarta.

Ardha, Ngurah. 2008. *Pemanfaatan Abu Terbang PLTU-Suralaya Untuk Castable Refractory*. www.tekmira.esdm.go.id.

Callister, W. D. 2007. *Material Science End Engineering An Introduction 7ed.* Departemen of metallurgical engineering the university of utah: John willey and sons, Inc.

Gibson. 1994. *Principle Of Composite Material Mechanics*. Mc Graw Hill, Inc: New York.

Husni. 2014. *Pengaruh Ukuran Serbuk Kuningan Terhadap Ketahanan Aus, Koefisien Gesek, dan Kekerasan Kampas Rem*. Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta.

Jones. 1975. *Mechanics Of Composite Material,* Mc Graw Hill: Kogakusha.

Karima, Hadrian. 2009. *Pengaruh Besar Tekanan Compacting Pada Silinder Serbuk Duralumin Powder Metallurgy Terhadap Kekerasan dan Porositas.* Universitas Brawijaya: Malang.

Koesnadi, Heri. 2008. *Fly Ash.* http://heri-mylife.blogspot.com/2008/06/fly-ash.html.

Maulana. 2012. *Pengujian Keausan Komposit Aluminium Diperkuat Karbon Nanotube dan Aluminium Diperkuat Silikon Karbida.* Universitas Diponegoro: Semarang.

Pandiangan, Filipus N.O.A. 2007. *Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Sifat Mekanik dalam Pemanfaatan Limbah Batubara Pada Komposit Paduan Limbah Batubara dan Resin Poliester Tak Jenuh*. Universitas Lampung: Bandar lampung.

Pratama. 2011. *Analisa sifat material komposit bahan kampas rem dengan penguat fly ash batubara*. Universitas Hasanuddin: Makassar.

Rusianto, Toto. 2009. *Hot Pressing Metalurgi Serbuk Aluminium dengan Variasi Suhu Pemanasan.* Institusi Sains & Teknologi AKPRIND: Yogyakarta.

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

Surdia, Tata & dkk. 1992. *Pengolahan Bahan Teknik.* F.T., Pradnaya Paramitca: Jakarta.

Wardani. 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.

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