

**PENGARUH PENGUAT *FLY ASH* DAN KARBON HITAM TERHADAP
SIFAT KERAMIK KAOLIN UNTUK MATERIAL PELAPIS PIPA BAJA
PENYALUR LIMBAH *FLY ASH***

(Tesis)

Oleh

**HEL JEFRI
1725021004**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

**PENGARUH PENGUAT *FLY ASH* DAN KARBON HITAM TERHADAP
SIFAT KERAMIK KAOLIN UNTUK MATERIAL PELAPIS PIPA BAJA
PENYALUR LIMBAH *FLY ASH***

Oleh

**HEL JEFRI
NPM 1725021004**

TESIS

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNIK**

Pada

**Program Pasca Sarjana Magister Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK**PENGARUH PENGUAT *FLY ASH* DAN KARBON HITAM TERHADAP
SIFAT KERAMIK KAOLIN UNTUK MATERIAL PELAPIS PIPA BAJA
PENYALUR LIMBAH *FLY ASH*****Oleh****HEL JEFRI**

PLTU Bukit Asam Tanjung Enim, merupakan pembangkit listrik berbahan bakar batubara dengan kapasitas 4 x 65 MW, membutuhkan bahan bakar 25.000 ton per hari. Dalam pengelolaannya, PLTU menghasilkan limbah padat dan cair yang dihasilkan per hari. Salah satu limbah padat yang tidak dapat diolah adalah fly ash, dimana fly ash yang dihasilkan sebesar 7% atau 20 ton per hari. Sehingga penggunaan fly ash sebagai media pelapis pipa fly ash. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pengaruh ukuran fly ash dan serbuk karbon hitam yang dikombinasikan dengan serbuk kaolin sebagai bahan penguat terhadap kualitas slurry transport pipe coating produk keramik. Serbuk fly ash dibuat dalam ukuran serbuk yang dicampur (acak) dengan serbuk karbon hitam, dan serbuk kaolin dengan ukuran 74 μ m (200 mesh). Serbuk campuran tersebut kemudian dikemas dengan tekanan 20 ton selama 5 menit untuk menghasilkan body yang berwarna hijau segar. Kemudian dipanaskan dengan tungku, pada suhu 800 oC selama 2 jam. Pengujian fisik yang dilakukan adalah pengujian porositas, densitas, dan ketahanan panas. Pengujian mekanis yang dilakukan adalah pengujian ketahanan aus dan pengujian kekerasan. Hasil pengujian menunjukkan keausan tertinggi pada KC 90 dan KF 50, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada KCF 50 dan KF 50.

Kata kunci: komposit ceramic matrix, slurry transport pipe coating ceramics

ABSTRAK**THE EFFECT OF FLY ASH REINFORCEMENT AND BLACK CARBON
ON THE PROPERTIES OF KAOLINE CERAMIC FOR STEEL PIPE
COATING MATERIALS FOR FLY ASH WASTE DISTRIBUTION****By****HEL JEFRI**

PLTU Bukit Asam Tanjung Enim, is a coal-fired power plant with a capacity of 4 x 65MW, requiring 25,000 tons of fuel per day. In its management, PLTU produces solid and liquid waste which is produced per day. One of the solid wastes that cannot be processed is fly ash, where the fly ash produced is 7% or 20 tons per day. So that the use of fly ash as a medium for coating fly ash pipes. In this study, the effect of the size of fly ash and carbon black powder combined with kaolin powder as a reinforcing material was tested on the quality of the slurry transport pipe coating ceramic products. Fly ash powder was prepared in powder sizes mixed (random) with carbon black powder, and kaolin powder with a size of 74 μm (200 mesh). The mixed powder is then packed with a pressure of 20 tons for 5 minutes to produce a crisp green body. Then heated with a furnace, at a temperature of 800 oC for 2 hours. Physical testing conducted is testing of porosity, density, and heat resistance. The mechanical tests carried out are wear resistance testing and hardness testing. The test results showed the highest wear at KC 90 and KF 50, while the highest hardness values were at KCF 50 and KF 50.

Key words: composite ceramic matric, slurry transport pipe coating ceramics

Judul Tesis : **PENGARUH PENGUAT FLY ASH DAN
KARBON HITAM TERHADAP SIFAT
KERAMIK KAOLIN UNTUK MATERIAL
PELAPIS PIPA BAJA PENYALUR LIMBAH FLY
ASH**

Nama Mahasiswa : **Hel Jefri**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1725021004**

Program Studi : **Magister Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Dr. Eng. Shirley Savetiana, S.T., M.Met.

NIP. 19740202 199910 2 001

Prof. Mohammad Badarudin S.T, M.T, Ph.D.

NIP. 19721211 199803 1 002

2. Ketua Program Studi Teknik Mesin

Dr. Gusri Ahyar Ibrahim, S.T., M.T.

NIP. 19710817 199802 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Anggota Penguji : Prof. Mohammad Badarudin S.T, M.T, Ph.D.



Penguji Utama I : Prof. Dr. Sugiyanto, MT.



Penguji Utama II : Dr. Gusri Akhyar Ibrahim., S.T., M.T.

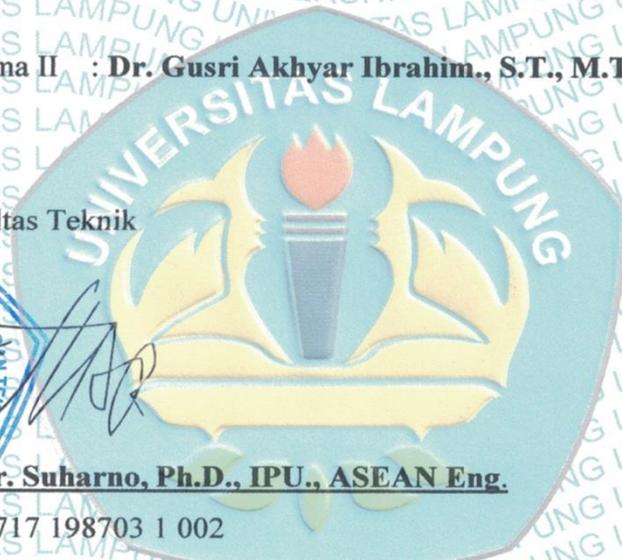


2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 1962 0717 198703 1 002



3. Direktur Program Pasca Sarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.

NIP. 19710415 199803 1 005

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 16 Agustus 2021

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur Jiplakan, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta di proses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 Ayat 2 dan pasal 70).

Bandar Lampung, 15 Agustus 2021

Mahasiswa



Hel Jefri

NPM. 17025004

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Panjang pada tanggal 20 Desember 1989 dan beralamatkan di Perumahan PLN Komplek Atas, Desa Lingga 2, Kec. Lawang Kidul, Kab. Muara Enim – Sumatera Selatan. Penulis merupakan anak kesatu dari Empat bersaudara dari Bapak Samsudin dan Ibu Nur Mala. Penulis menempuh jenjang pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Tarahan, Kec. Katibung, Kab. Lampung Selatan selesai pada tahun 2001. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 11 Bandar Lampung - Bandar Lampung selesai pada tahun 2004 setelah itu melanjutkan pendidikan di SMK Negeri 2 Bandar Lampung - Bandar Lampung dan selesai pada tahun 2007. Pada tahun 2010 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung melalui jalur Beasiswa Akademis.

Selama jadi mahasiswa, Penulis aktif di organisasi internal kampus yaitu sebagai pengurus HIMATEM (Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin) sebagai anggota bidang penelitian periode 2012-2014, Penulis aktif dalam bidang perlombaan INOVASI TEKNOLOGI PROVINSI LAMPUNG sebagai Finalis pada tahun 2013. Penulis aktif dalam asisten peneliti pada tahun 2012 -2014, penulis pernah menjadi asisten praktikum Laboratorium Dasar Teknik mesin dan Laboratorium Mekanik tahun 2013. Penulis menjadi asisten proses produksi pada tahun 2013. Kemudian penulis pernah melaksanakan Kerja Praktek di PT Bukit Asam (TBk) Bandar Lampung dengan judul penelitian “Pengaruh Modifikasi Tekanan Rotary Car Clam Pada Damper Gerbong Kereta Saat Proses Bongkar Batubara”. Pada tahun 2007. Penulis menyelesaikan pendidikan S-1 pada tahun 2014 dengan Indeks Prestasi Kumulatif (IPK) 3,45.

Tahun 2014 - 2015 Penulis Diterima Sebagai Karyawan PT Garudafood Lampung Bagian Engineering Perencanaan Produksi, Tahun 2015 - 2018 Penulis Diterima Sebagai Karyawan PT PLN (Persero) UPK Bukit Asam Bagian Asistant Engineer Pemeliharaan Coal Ash Handling, Tahun 2018 - 2020 Penulis ditempatkan dibagian Asistant Oprator Control Room PT PLN (Persero) UPK Bukit Asam, Tahun 2020 - Sekarang Penulis ditempatkan dibagian Enggineering Pengelolaan Sistem PT PLN (Persero) UPK Bukit Asam.

Tahun 2017 Penulis melanjutkan pendidikan S2 di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung dengan mengambil konsentrasi Material, sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik penulis melakukan penelitian dengan judul tugas akhir “PENGARUH PENGUAT *FLY ASH* DAN KARBON HITAM TERHADAP SIFAT KERAMIK KAOLIN UNTUK MATERIAL PELAPIS PIPA BAJA PENYALUR LIMBAH *FLY ASH*” di bawah bimbingan Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met dan Bapak Prof. Muhammad Badarudin, S.T., M.T., Ph.D.

Bandar Lampung, 16 Agustus 2021

Penulis

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”

الحمد لله

ALHAMDULILLAH HIROBBIL ALAMIIN

(segala puji bagi الله, tuhan semesta alam)

Kupersembahkan karya kecilku ini untuk untuk orang-orang yang aku sayang

Ayah dan Ibuku

Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Samsudin dan Ibu Nurmala yang tiada pernah hentinya selama ini memberiku doa, semangat, dorongan, nasehat dan kasih sayang sertapengorbanan yang tak dapat tergantikan.

Adik Tercinta

Liana Hartika,. S.Kom, Reka Yanti, Indah Purnama Sari. Kepada yang telah membantu dan memberikan dorongan moril.

Dr. Desrina.

Istri tercinta, yang selalu memberikan motivasi untuk segera menyelesaikan tesis ini, terimakasih untuk doanya.

Dosen Magister Teknik Mesin Universitas Lampung

Yang telah membimbing, mengajarkan, memberikan saran, baik secara akademis maupun non akademis

Teman-Teman Magister Teknik Mesin 2017

Teman seperjuangan suka-duka yang selalu memberi semangat, dukungan, dan motivasi untuk terus yakin berjuang menyelesaikan permasalahan apapun.

Motto

“Demi masa. Sungguh, manusia berada dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan serta saling menasihati untuk kesabaran.”

(QS. Al-‘Asr [103] : 1-3)

خَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمْ لِلنَّاسِ

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia”

(HR. Ahmad, ath-Thabrani, ad-Daruqutni. Hadits ini dihasankan oleh al-Albani di dalam Shahihul Jami' no:3289)"

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari satu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

(QS. Al-Insyirah [94] : 6-8)

“ Selalulah Berfikir Positif, Tidak Peduli Seberapa Keras
Kehidupanmu ”

(Ali bin Abi Thalib)

“Kalau Berani Jangan Takut Takut, Kalo Takut Jangan Berani Berani”

(Joko Widodo)

“ Menjadi Seorang Engineer Itu Harus Kritis, Belum Melihat Jangan Dulu Percaya,
Sudah Melihat Baru Percaya.

Jadi Prinsip Dasarnya”

SEEING IS BELIEVE”

“Jadilah Engineer No 1”

(Ricky Elson)

“ Hidup Harus Bermanfaat Untuk Orang Lain, Jadi Jangan Marah Jika di
Manfaatkan “

(HEL JEFRI)

UCAPAN TERIMAKASIH

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang senantiasa mencurahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan menyusunnya menjadi sebuah karya ilmiah dengan judul “PENGARUH PENGUAT *FLY ASH* DAN KARBON HITAM TERHADAP SIFAT KERAMIK KAOLIN UNTUK MATERIAL PELAPIS PIPA BAJA PENYALUR LIMBAH *FLY ASH*”. Karya ilmiah ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Sholawat dan salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi panutan serta membawa umat manusia dari lembah kegelapan menuju dunia yang terang benderang.

Limpahan rasa hormat, cinta, kasih sayang dan terima kasih tiada tara kepada ibunda Nurmala dan ayahanda Samsudin yang mendidik dan membesarkan dengan penuh cinta dan kasih yang begitu tulus kepada Penulis dan yang telah memberikan do'a disetiap detik kehidupannya untuk keberhasilan Penulis. Serta saudara dan keluarga besar yang selama ini telah banyak memberikan do'a, perhatian, kasih sayang, semangat dan dukungannya kepada Penulis, semoga Allah SWT senantiasa mengumpulkan kita semua dalam kebaikan dan ketaatan kepada-Nya.

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih setinggi-tingginya penulis sampaikan dengan segala keikhlasan dan kerendahan hati kepada :

1. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
2. Prof. Suharno M.S, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. selaku Ketua Program Magister teknik Mesin Universitas Lampung, serta pada kesempatan ini sebagai dosen penguji.
4. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.. selaku dosen pembimbing utama yang telah bersedia menyempatkan waktunya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam penyempurnaan penulisan tesis ini;
5. Bapak Prof. Mohammad Badarudin, S.T., M.T., Ph.D. selaku selaku dosen pembimbing kedua, yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
6. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Magister Teknik Mesin yang banyak memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun teladan dan motivasi.
7. Manager PT PLN Persero UPK Bukit Asam, Bapak Dinda Alamsyah yang telah memberi Motivasi dan bimbingan selama penyelesaian tesis ini
8. Untuk orang tua-ku Ibunda tercinta mindarti yang selalu menjadi pondasi dan motivasi utama penulis menyelesaikan studi di Jurusan Magister Teknik Mesin, atas segala do'a, dukungan dan setiap tetes keringat yang telah didedikasikan tanpa pamrih kepada penulis.

9. dr. Desrina yang selalu setia menemani, mendukung dan selalu membantu dalam penyelesaian tesis ini
10. Teman-teman Pasca Sarjana Teknik Mesin (angkatan 2017), Pak Bos Lucius Patria Giri D.A, Babang Feni Setiawan, Babang Retno Wahyudi, Bro Alexander Sembiring, dan oom Endra Saputra semoga kebersamaan dan persaudaraan kita tidak berakhir hanya dikampus ini.
11. Teman-teman Laboratorium PT PLN (Persero) UPK Bukit Asam, terimakasih atas dukungan kalian
12. Teman-teman Engginering PT PLN (Persero) UPK Bukit Asam, terimakasih atas dukungan kalian
13. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak terdapat kesalahan serta kekurangan. Menyadari hal tersebut dengan segala kerendahan hati penulis akan menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca untuk kesempurnaan tesis ini, yang tentunya akan lebih mendorong kemajuan penulis dikemudian hari. Semoga tesis ini dapat berguna bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Akhir kata penulis ucapkan termakasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, Agustus 2021

Penulis,

Hel Jefri

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhana Wata'ala karena atas berkat dan rahmat-Nya telah memampukan penulis untuk menyelesaikan Tesis ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik di Universitas Lampung.

Tesis dengan judul **“PENGARUH PENGUAT FLY ASH DAN KARBON HITAM TERHADAP SIFAT KERAMIK KAOLIN UNTUK MATERIAL PELAPIS PIPA BAJA PENYALUR LIMBAH FLY ASH”** dapat diselesaikan dengan baik berkat partisipasi, bantuan, dukungan dan doa dari berbagai pihak.

Tiada gading yang tak retak, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyajian Tesis ini, dengan senang hati penulis menerima kritikan dan saran dari semua pihak untuk sempurnanya Tesis ini.

Bandar Lampung, 15 Agustus 2021

Penulis,

Hel Jefri

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
 I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Tujuan Penelitian	7
1.3. Manfaat Penelitian	7
1.4. Hipotesis dan Batasan Masalah.....	8
1.5. Sistematika Penulisan.....	8
 II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian keramik	10
2.1.1 Sifat Keramik.....	11
2.1.2 Proses pembuatan keramik	11
2.2. Bahan pembentuk pipa <i>slurry transport</i>	12
2.2.1. <i>Fly Ash</i>	12
2.2.2. Kaolin	14
2.2.3. <i>Carbon black</i>	15
2.3. Komposit.....	16
2.3.1. Klasifikasi material komposit.....	17
2.4. Sistem Perpipaan.....	18
2.5. Sistem Pipa <i>Slurry transport</i>	19
2.5.1. bahan pipa <i>slurry transport</i>	19
2.5.2. sifat mekanik pipa <i>slurry transport</i>	20

2.6.	Metalurgi Serbuk	22
2.7.	Pengujian Sifat Mekanik.....	27
2.7.1.	Pengujian kekerasan	27
2.7.2.	Pengujian keausan	27
2.7.3.	Pengujian Densitas dan Porositas	28
2.7.4.	Pengujian TGA	30
2.7.5.	Pengujian SEM	31

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Tempat Waktu Penelitian	32
3.1.1.	Rencana Jadwal Penelitian.....	32
3.1.2.	Tempat Penelitian	33
3.2.	Bahan	33
3.3.	Alat	36
3.4.	Prosedur pelaksanaan penelitian	45
3.4.1.	Prosedur perhitungan pencampuran spesimen	45
3.4.2.	Prosedur persiapan bahan	47
3.4.3.	Prosedur pencampuran bahan.....	48
3.4.4.	Prosedur sintering bahan	50
3.4.5.	Kompaksi serbuk	50
3.5.	Pengujian keramik pelapis pipa	51
3.5.1.	Pengujian TGA.....	52
3.5.2.	Pengujian Porositas dan Densitas	55
3.5.3.	Pengujian kekerasan	57
3.5.4.	Pengujian keausan	59
3.5.5.	Pengujian SEM.....	63
3.6.	Diagram Alir Penelitian	65

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Pengujian <i>Thermo Gravimetric Analyzer</i> (TGA)	66
4.2. Data hasil Pengujian Densitas dan Porositas.....	68
4.2.1. Data hasil Pengujian Densitas	68
4.2.2. Data hasil Pengujian Porositas	70
4.3. Data Hasil Pengujian Kekerasan	72
4.4. Data Hasil pengujian ke ausan	74
4.5. Data Hasil pengujian SEM.....	75

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan	82
5.2 Saran	83

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
1.	Analisis kimia <i>fly ash</i> PLTU Bukit Asam	14
2.	Jenis dan type <i>Carbon black</i>	17
3.	Kode standard perpipaan.....	19
4.	Tekanan kompaksi dan rasio kompaksi	25
5.	Rencana dan waktu pelaksanaan penelitian	33
6.	Sifat fisik dan mekanik <i>fly ash</i>	35
7.	Sifat fisik dan mekanik kaolin.....	36
8.	Sifat fisik dan mekanik <i>Carbon black</i>	37
9.	Spesifikasi alat <i>Ball Mill</i> di PLTU Bukit Asam	39
10.	Spesifikasi alat <i>Oven Electric</i> di PLTU Bukit Asam	39
11.	Spesifikasi alat Mesin Pengayak di PLTU Bukit Asam.....	40
12.	Spesifikasi alat Timbangan digital di PLTU Bukit Asam	41
13.	Spesifikasi alat pengaduk sampel <i>Jar Test</i> di PLTU Bukit Asam.....	42
14.	Spesifikasi alat Gelas ukur di PLTU Bukit Asam	42
15.	Dimensi dan Spesifikasi alat press hidrolik.....	43
16.	Nama komponen perangkat kompaksi	44
17.	Dimensi dan spesifikasi alat kompaksi	45
18.	Spesifikasi alat <i>Furnace</i> di PLTU Lab terpadu Unila	46
19.	Komposisi spesimen kaolin dan karbon hitam.....	48
20.	Komposisi spesimen kaolin, <i>fly ash</i> dan karbon hitam	49
21.	Komposisi spesimen kaolin dan <i>fly ash</i>	49
22.	Spesifikasi Alat Uji TGA di PLN UPK Bukit Asam	55
23.	Hasil Pengujian TGA temperatur 750 derajat celcius	56
24.	Weight lost Spesimen keramik pelapis pipa	56
25.	Hasil Pengujian densitas keramik pelapis pipa	58
26.	Hasil Pengujian densitas keramik pelapis pipa	59
27.	Spesifikasi Alat Uji vikers micro hardness	60
28.	Data Pengujian kekerasan spesimen kaolin dan <i>carbon</i> hitam	61
29.	Data Pengujian kekerasan spesimen kaolin, <i>fly ash</i> dan <i>carbon</i> hitam.....	61

30. Data Pengujian kekerasan spesimen kaolin dan <i>fly ash</i>	61
31. Data Pengujian keausan spesimen kaolin dan <i>carbon</i> hitam	64
32. Data Pengujian keausan spesimen kaolin, <i>fly ash</i> dan <i>carbon</i> hitam.....	64
33. Data Pengujian keausan spesimen kaolin dan <i>fly ash</i>	65
34. Spesifikasi Alat Uji SEM.....	66
35. Hasil Pengujian kandungan uap air, abu dan ketahanan panas sampel	70
36. Hasil Pengujian <i>weight lost</i> sampel	70
37. Densitas sampel	71
38. Hasil Pengujian Densitas sampel dengan metode archimedes	71
39. Hasil Pengujian porositas.....	73
40. Data Hasil Pengujian kekerasan spesimen	75
41. Data Hasil Pengujian keausan spesimen	77

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
1.	fly ash	12
2.	kaolin.....	14
3.	<i>Carbon black</i>	15
4.	Partikel <i>composite</i>	18
5.	Laminar <i>composite</i>	18
6.	Penggunaan pipa <i>slurry transport</i> di PLTU UPK Bukit Asam	21
7.	Pipa <i>slurry transport</i> eksisting di pltu UPK Bukit Asam	21
8.	<i>Reattritor mil</i> dan <i>ball mill</i>	22
9.	Type gaya yang bekerja pada <i>bal mill</i>	23
10.	Skema alat kompaksi	24
11.	Pertumbuhan mikrostruktur antar material logam.....	25
12.	Proses <i>initial stage</i>	26
13.	Proses <i>intermediete stage</i>	26
14.	Proses final stage.....	27
15.	Ilustrasi uji keausan	28
16.	Alat dan proses pengujian SEM.....	29
17.	Serbuk <i>fly ash</i>	41
18.	Serbuk Kaolin.....	41
19.	Serbuk <i>Carbon black</i>	42
20.	<i>Ball mill</i> di pln UPK Bukit Asam.....	35
21.	Oven Electric di pln UPK Bukit Asam	36
22.	Mesin pengayak di pln UPK Bukit Asam	36
23.	Timbangan digital di pln UPK Bukit Asam	37
24.	Mesin <i>Jar test</i> di pln UPK Bukit Asam.....	37
25.	Proyeksi mesin press hidrolik	38
26.	Mesin Press hidraulik.....	39
27.	Alat Kompaksi <i>dies</i> dan <i>punch</i>	40
28.	Alat sintesis kompaksi pelapis pipa	41
29.	Campuran serbuk <i>fly ash</i> dan kaolin	45
30.	Campuran serbuk <i>fly ash</i> , <i>carbon</i> hitam dan kaolin.....	46

31. Campuran serbuk <i>fly ash</i> dan karbon hitam	47
32. Proses sintering serbuk.....	48
33. Perangkat alat kompaksi	48
34. Spesimen awal kompaksi sebelum di oven	49
35. Alat Uji TGA di PLN UPK Bukit Asam.....	50
36. Alat Uji keausan ogoshi type OAT-U	56
37. Ilustrasi pengujian keausan	56
38. Alat Uji keausan Struktur mikro SEM	59
39. Proses pengujian TGA 700	63
40. Bentuk Fisik Limbah Padat Setelah Di Torefaksi 200°C	64
41. Bentuk Fisik Limbah Padat Setelah Di Torefaksi 225°C	64
42. Bentuk Fisik Limbah Padat Setelah Di Torefaksi 250°C	65
43. Bentuk Fisik Limbah Padat Setelah Di Torefaksi 275°C	66
44. Bentuk Fisik Limbah Padat Setelah Di Torefaksi 200°C	66
45. Gravik Nilai HHV Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	69
46. Gravik Nilai LHV Tandan Kosong Kelapa Sawit	69
47. Gravik Nilai Mass Yield Produk	70
48. Gravik Nilai Hydrophobic.....	71
49. Gravik Data Komposisi Gas.....	73
50. Gravik Data Emisi CO, CO ₂ , dan O ₂	78
51. Gravik Data Emisi HC	78

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keramik adalah material non metal yang terbentuk oleh perlakuan panas dan tekanan terdiri dari senyawa unsur logam dan satu unsur non logam yang memiliki ikatan *ionic* dan kovalen, (Calister, 2007). Keramik memiliki senyawa pengikat oksigen, karbon, nitrogen, boron dan silicon sehingga menjadi material tahan panas, porositas rendah, tahan aus, tahan korosi dan memiliki titik leleh yang tinggi. Dalam perkembangan teknologi pembuatannya, keramik yang dibuat tradisional dari tanah liat, sekarang sudah dibuat dari material berbentuk serbuk yang ditekan, dan dipanaskan pada temperatur tinggi yang disebut keramik industri (Jauhari, 2015).

Pembuatan Keramik Matriks Komposit dilakukan dengan mencampur beberapa material penyusun sebagai pengganti bahan pengisi seperti tanah liat diganti dengan bahan utama seperti serbuk *Silica* SiO_2 , *Alumina* AlO_3 , kalsium CaO , di mana material penyusun tersebut banyak terdapat di *fly ash*. *Fly ash* merupakan residu hasil pembakaran batubara pada PLTU yang belum banyak dimanfaatkan, di mana *fly ash* mempunyai titik lebur sekitar $1300\text{ }^\circ\text{C}$ dan mempunyai massa (*densitas*), antara $2.0 - 2.5\text{ g/cm}^3$ (Erol dkk, 2000). Di Indonesia PLTU penghasil limbah batubara di antaranya PLTU Paiton (Jawa Timur), PLTU Suralaya (Banten) dan PLTU Bukit Asam (Sumatera Selatan). Limbah batu bara yang besar menimbulkan dampak pencemaran

udara dan lingkungan. Sehingga perlu dipikirkan sebuah alternatif pemecahan permasalahan pencemaran ini (Andriati, 2005).

Sistem pipa *slurry transport* adalah sistem saluran tertutup yang dipergunakan untuk pendistribusian *fluida* yang berupa material cair maupun gas. Pada PLTU Bukit Asam terdapat sistem *Slurry transport* di mana fluida yang dialirkan adalah *fly ash* dari sisa pembakaran batu bara yang ditangkap oleh *Electro Static Pacipitator (ESP)*. *fly ash* yang tertangkap *ESP* tersebut digetarkan sehingga ditampung di dalam *Hopper ESP*. Dari Hoper *ESP fly ash* akan turun ke dalam tabung *Transporter* melalui *phanuematic valve* yang terbuka secara otomatis. *fly ash* di dalam tabung transporter kemudian ditekan dengan udara bertekanan sehingga mengalir melalui pipa ke *fly ash silo*.

Pipa *slurry transport* terbuat dari material logam, sehingga seiring meningkatnya suhu, berpengaruh pada penurunan kekerasan pipa, pipa menjadi lebih abrasif dan mudah bocor. Penelitian melapisi pipa logam dengan kramik di bagian dalam sehingga diharapkan pipa tahan *aus*, koefisien gesek yang tinggi, kuat, tahan terhadap temperatur tinggi dan memiliki porositas rendah. Olehkarena itu dilakukan pembuatan keramik sebagai pelapis bagian dalam pipa dengan bahan kaolin, karbon hitam, dan *fly ash* dengan metode *compactcing*. Diharapkan paduan material penyusun keramik memiliki ikatan paduan kuat dan tahan pada temperatur tinggi, sehingga sangat cocok jika dimanfaatkan menjadi bahan pelapis pipa *slurry transport* .

Menurut Anggraini (2016) pemanasan cepat keramik komposit SiC – ZrO₂ dengan *micro wive* type single mode 2,45 GZ (1273 K) memiliki karakterisasi. Di mana hasil dari penambahan ZrO₂ ke SiC dapat membuat konstanta *dielectric* lebih tinggi dari bahan makro komposit dengan shell core dapat diperoleh. Kemudian pola konektifitas shell-core yang terdiri dari struktur shell menyeluruh pada ZrO₂ ke SiC yang berhasil dibentuk dengan proses MM dengan waktu penggilingan 144 KJ dan pemanasan mikrowife pada suhu 127 K selama 0,6 *seccon*. Widodo (2010) menggunakan campuran *fly ash* dan MgO dengan *memvariasikan* suhu sinter 1100 – 1150 °C dan 1150 – 1200 °C. Sedangkan untuk variasi komposisi MgO sebanyak 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % komposisi *fly ash* tetap, kemudian dilakukan pengujian *four point bending* tes dengan tekanan yang dihasilkan 3000 kgf (166,42 MPa) dan uji densitas dengan metode archimedes. Hasil yang didapat suhu sinter maksimum 1150 °C, komposisi *fly ash* 95 % dan 5 % MgO kekuatan yang didapat 29,58 MPa. Menurut Rusianto (2011) Penambahan kaolin pada campuran keramik *fly ash* dengan Kaolin dengan variasi komposisi kaolin sebanyak 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % komposisi *fly ash* tetap, kemudian dengan memvariasikan suhu sinter 1100 – 1150 °C dan 1150 – 1200 °C. Hasil yang terbaik didapat jika menambahkan kaolin sebanyak 15 % kekuatan bending menjadi 4,5 MPa di banding dengan menggunakan 100% *fly ash* sebesar 2,66 MPa, serta meningkatnya densitas komposit pada suhu sinter terbaik pada 1150 °C.

Penelitian Fitria dan Waziz (2004) meneliti serbuk paduan AL – 9 % Si, dengan pembuatan spesimen memvariasikan tekanan kompaksi 300, 400, dan 500 MPa dan

variasi suhu sinter 450, 500 dan 550 °C selama 2 jam dalam lingkungan gas Argon. Hasil Penelitiannya menunjukkan bahwa meningkatnya tekanan kompaksi dan suhu sinter akan meningkatkan kekerasan dan densitas dari spesimen. Penelitian Wang (2011) tentang efek dari biner terhadap sifat sifat mekanik dari *light burble* alumina keramik di mana temperatur 1700 °C . alumina sulphat dan phosphate ditambah biner density mencapai 1,60 kg/cm² dan kompres tegangan hingga 42 MPa. Kadkool dan Alyamwas (2011) meneliti tentang prepaasi pipa besi dengan pelapis intermasuk – TiB₂ – AlO₂ di mana pembentukan lapisan dengan poses sentrifugal SHS.

Nurzal dan Saputra (2013) melakukan penelitian pengaruh komposisi *fly ash* dan suhu sinter terhadap kekerasan pada manufaktur keramik lantai dan hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi optimal kekerasan *vickers* terjadi pada spesimen (50% berat *fly ash* vitrifikasi + 50 % berat clay + 10% berat batu kapur) pada tekanan 120 MPa dan suhu sinter 1150 °C, yaitu sebesar 11.006 kg/mm². Kemudian penelitian Okeye dkk.(2018) menyatakan bahwa penambahan unsur lain pada *fly ash* seperti silica fume dan kaolin, yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan optimalisasi pada komposisinya akan menambah kekuatan. Sehingga didapatkan kekuatan tarik bahan mencapai 45 MPa, dengan komposisi optimum *fly ash* 50 %, silica fume 10 % dan kaolin 40 %. Setelah itu Wattanasiriwech dkk, 2017 melakukan penelitian mempariasikan *cordierte mullite* 0, 20, 40 dan 60 % dengan *curing*. Dapat meningkatkan sifat mekanik dan *thermal properties* pada paduan *fly ash*, sehingga dapat diaplikasikan pada temperature tinggi. Hasil *compressive strength*

terbaik pada variasi 40 % dengan nilai 77 MPa setelah di *curing* (dipanaskan) pada temperature 400°C kekuatan *compressive strength* menjadi 51 MPa.

Menurut Penelitian Toto (2009) tentang *hot pressing*, press dalam keadaan panas akan menjadikan serbuk menjadi lunak /plastis sehingga memudahkan untuk dipadatkan sangat berpengaruh terhadap kekuatan yang dihasilkan. Pada penilitian yang dilakukan husnaini (2014) pengaruh ukuran serbuk terhadap ketahanan aus disimpulkan bahwa serbuk yang butirnya lebih besar kurang maksimal dan ikatan antara material serbuk dan penguat kurang baik. Pada penelitian yang dilakukan fathliansyah (2016) mengenai pengaruh ukuran serbuk abu terbang batubara terhadap laju keausan komposit *fly ash / phenolic* sebagai material komposit bahan kampas rem, yang tahan aus . Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa kandungan *fly ash*, resin *phenolic*, barium sulfat, dan NBR sebagai campuran yang memiliki sifat mekanik yang paling baik adalah dengan komposisi pada sampel perbandingan komposisi 20% serbuk *fly ash*, grafit : 60% resin : 10% BaSO₄ : 10 % NBR. Kemudian penelitian yang dilakukan B. Ramgopal Reddy (2017) mengenai *Fabrication and Characterization of Silicon Carbide and fly ash reinforced alumunium metal matrix composites*. Dari penelitian ini disimpulkan komposit logam almunium matriks *fly ash* dan SiC lebih seragam, sehingga kekerasan dapat lebih meningkat.

Pada penelitian yang dilakukan Amin dan Subri (2017) mengenai pengembangan material komposit keramic berpori dari bahan *clay* di perkuat bahan kuningan dengan menggunakan metode ekstruksi. Dari penelitian tersebut disimpulkan

bahwa jumlah porositas tertinggi pada penambahan 10 % berat CuZn yaitu sebesar 78,74 dengan harga densitas 4,42 gr/cm³. Dari beberapa kondisi di atas dapat disimpulkan bahwa tingkat kekerasan (*surface roughness*) dan kehalusan lapisan pipa, porositas, jenis material penyusun dan material yang melewati pipa tersebut. Jika temperaturnya semakin tinggi (di atas temperature maksimum) life time pipa akan menurun. Penelitian Luo. Dkk (2018) tentang *wisker roun for cdt* SiC matrik komposit di mana hasil desain serat menggunakan SiC W dan matrik menggunakan SiC kemudian menggunakan *interface* (multisila) dengan subjek H₂O₂ *oxidation*. Dengan tambahan alumina Al₂O₃ proses *coating* SiC – SiO₂ - Al₂O₃, pelapis struktur density sampai 93,8 *flexurel strenght* 18,2 MPa, *fracture tougnes* 2,1 MPa, dan *vikers* 2,5.

Dari data di atas terlihat peningkatan nilai kekerasan dan keausan saat jumlah campuran serbuk *fly ash* dan *Carbon black* ditambahkan. Penambahan jumlah serbuk *fly ash* memiliki nilai ketahanan aus lebih besar sehingga memunculkan ketertarikan untuk mengkaji lebih lanjut terhadap pengaruh pencampuran *fly ash* dan *Carbon black* terhadap serbuk kaolin. Dengan latar belakang inilah maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian dengan judul Pengaruh Penguat *fly ash* dan karbon hitam terhadap sifat keramik kaolin untuk material pelapis Pipa Logam Penyalur *fly ash*. Di mana pada pembuatan keramik menggunakan metode *pressing*, sehingga semua bahan dipersiapkan dalam bentuk serbuk yang ukurannya kurang dari 200 mesh. Semua bahan dicampur dalam satu wadah kemudian di *mixing* selama 60 menit, kemudian wadah dan material dipanaskan lebih dulu. Setelah dipanaskan bahan dimasukkan ke dalam cetakan dan dilakukan penekanan dengan tekanan 200 MPa, dan dengan

temperature ruang. Setelah itu *green body* *cramik* dimasukan dimasukan ke dalam *furnace* selama 2 jam ditahan dengan suhu 850 °C, dengan kenaikan suhu 5° per menit dari suhu ruang.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa dan membuat keramik komposit untuk bahan pelapis pipa penyalur untuk distribusi *fly ash*, dengan bahan serbuk karbon, *fly ash* dan Kaolin
2. Melakukan pengamatan mekanika kegagalan komposit dengan SEM.
3. Melakukan pengujian porositas dan densitas.
4. Melakukan pengujian mekanik untuk mengetahui sifat mekanik komposit keramik terhadap tingkat kekerasan, dan laju keausan.

1.3. Manfaat Penelitian :

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Meningkatkan kualitas dan mengurangi biaya oprasional perawatan dan perpipaan.
2. Mengurangi limbah *fly ash* dan memberi lapangan bisnis baru
3. Bagi masyarakat manfaat penelitian ini adalah agar masyarakat mendapatkan produk dari material yang mempunyai sifat yang baik dan handal, dengan harga yang lebih terjangkau dan mengurangi pencemaran lingkungan.

4. Bagi Industri sebagai referensi dalam menentukan bahan alternatif pipa yang aman dan ekonomis serta sebagai acuan dalam peningkatan mutu bahan pipa sulury transport yang akan dihasilkan. Dan juga pemanfaatan limbah debu batu bara yang dihasilkan oleh pabrik semen maupun pabrik-pabrik lainnya.

1.4. Batasan Masalah

Adapun Masalah yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut. :

1. Komposit keramik dibuat berbahan kaolin, *fly ash*, karbon hitam. Pengujian komposisi dan sifat mekanik dengan pengujian TGA (*thermo gravimetric analyzer*), dengan standar ASTM D 5045-96.
2. Pengujian sifat mekanik dan pengujian sifat fisik dengan SEM
3. Pengujian sifat mekanik dibatasi pada pengujian penguji kekerasan, *densitas*, serta penguji keausan.

1.5. Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah :

1. Semakin banyak jumlah penguat serbuk karbon pada komposit keramik, kekerasan, ketahanan aus, dan kekuatan semakin meningkat.
2. Semakin banyak jumlah penguat *fly ash* pada komposit keramik, kekerasan, ketahanan aus, dan kekuatan semakin meningkat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Keramik

Secara ilmiah keramik adalah benda - benda yang dibuat dari bahan lunak dari alam yang dijadikan keras dengan cara pemanasan (Gutama. N, 2011). Material keramik terbuat dari bahan non logam, senyawa *inorganic* dan memiliki senyawa ikatan oksigen, karbon, nitrogen, boron dan silicon. Keramik dibentuk oleh beberapa senyawa unsur logam dan satu unsur padat non logam yang terikat secara *ionic* dan kovalen dengan perlakuan panas dan tekan (Gutama. N, 2011). Keramik tradisional seperti *porcelin*, ubin (keramik lantai) yang dibuat dengan tanah liat (lempung), talk, silica dan palspar. Para pembuat keramik biasanya menggunakan material dari tanah yang di gali sehingga banyak terdapat pengotor dan besar kemungkinan mengurangi kekuatan keramik (Jauhari, 2015). Contoh keramik tradisional seperti barang pecah belah, guci, gerabah dan lain sebagainya.

Keramik industri (keramik modern) atau disebut dengan keramik teknik (*advace cramic/ engginering ceramic*) adalah keramik yang dibuat dari serbuk oksida logam dan non logam seperti silica, alumina, karbida, barium, oksida biner dan bahan sintetis lain (Jauhari, 2015). Serbuk oksida tersebut didapatkan dari alam, didapat dengan cara menggali kemudian dihancurkan menjadi serbuk kemudian serbuk tadi

diendapkan sehingga pengotor mengendap. Endapan pengotor tersebut di saring dan dipanaskan untuk menghilangkan impuritis dan air sehingga dihasilkan serbuk dengan ukuran 1 mikron dan murni (Jauhari, 2015). Pada proses pembuatannya serbuk oksida tersebut dipanaskan pada temperatur *curing*, ditekan sedemikian rupa kemudian dipanaskan pada temperatur *sintering*. Sehingga diharapkan mikro struktur kramik tersebut lebih homogen dan porositasnya rendah, sehingga menjadikan keramik ini lebih keras, tahan aus, dan tahan panas.

2.1.1. Proses Pembuatan Keramik

a. Keramik Tradisional

Bahan baku utama yang digunakan untuk membuat produk keramik tradisional, adalah lempung, *feldspar* dan pasir. Tahapan pembuatan keramik tradisional terdiri dari pengolahan bahan, pembentukan, pengeringan, pembakaran dan pengglasiran (Gutama. N, 2011).

b. Keramik industri

Keramik industri (keramik modern) atau disebut dengan keramik teknik (*advace cramic/engginering ceramic*) adalah keramik yang dibuat dari serbuk oksida logam dan non logam seperti silica, alumina, karbida, barium, oksida biner dan bahan sintetis lain (Jauhari, 2015), berikut proses pembuatan keramik Industri terdiri dari :

- Proses pembentukan terdiri dari, *slip casting*, *Pressure Casting*, *Injection Molding*, dan *Extrusion*.

- Proses *densifikasi* (dipanaskan pada tungku/ *furnace* dengan temperatur antara 1000 sampai 1700°C).

2.2. Bahan pembentuk keramik pelapis *pipa slurry transport*

2.2.1 *Fly ash*



Gambar 1. *Fly ash* (Retno, 2006)

Abu terbang (*fly ash*) adalah partikel halus yang merupakan residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel-partikel halus (Gautama, N, 2011). Abu terbang (*fly ash*) mempunyai titik lebur sekitar 1300 °C dan mempunyai kerapatan massa (densitas) antara 2.0 – 2.5 g/cm³, dan memiliki beberapa kandungan/unsur kimia utama seperti SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, dan MgO (Puspita, 2006).

a. Jenis *fly ash*

Fly ash memiliki sifat sebagai *pozzolan*, yaitu suatu bahan yang mengandung silika atau alumina silika yang tidak mempunyai sifat perekat

(sementasi) pada dirinya sendiri tetapi dengan butirannya yang sangat halus bisa bereaksi secara kimia dengan kapur dan air membentuk bahan perekat pada temperatur normal (Retno, 2006).

b. Standard *fly ash* menurut SK SNI S – 15 – 1990 - F p – 1 :

- Abu batubara kelas N adalah hasil kalsinasi dari pozzolan alam seperti tanah *diatomice*, *shole* (serpih), *tuff*, dan batu apung yang beberapa jenis dari bahan tersebut ada yang tidak mengalami kalsinasi.
- Abu batubara kelas F adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis *anthrasite* pada suhu 1560 °C, abu batubara ini memiliki sifat pozzolan.
- Abu batubara kelas C adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau batubara dengan kadar karbon $\pm 60\%$ (*Sub bituminous*); abu ini mempunyai sifat pozzolan dan sifat menyerupai semen dengan kadar kapur di atas 10%.

c. Data analisis kimia *fly ash* yang berasal dari PLTU Bukit Asam Provinsi Sumatera Selatan

Tabel 1 Hasil Pengujian Analisis kimia *fly ash* PLTU Bukit Asam Provinsi Sumatera Selatan (Sumber: Hasil Laboratorium SYS Lab Tekmira)

LABORATORY TEST RESULTS							
Job Number : 1711611				Date : August 10, 2017			
Customer : PLTU BUKIT ASAM			Attention : Mr. Ginanjar			Position:	
Lab. Sample	Customer Sample ID	Matrix	Date Sampled	Time Sampled	Date Received	Time Received	Interval Analysis
1711611-1/2	Fly Ash	Solid	-	-	24/07/2017	14:00	24/07 to 08/08
NO.	TEST DESCRIPTION	RESULT	UNIT	METHOD			
	Main Oxide						
1	Silicon Dioxide, SiO ₂	60.04	%	ICP			
2	Aluminium Oxide, Al ₂ O ₃	2.19	%	ICP			
3	Ferric Oxide, Fe ₂ O ₃	4.99	%	ICP			
4	Calcium Oxide, CaO	1.60	%	ICP			
5	Magnesium Oxide, MgO	1.26	%	ICP			
6	Sulfur TriOxide, SO ₃	0.32	%	ICP			
7	Sodium Oxide, Na ₂ O	0.23	%	ICP			
8	Pottasium Oxide, K ₂ O	0.04	%	ICP			
9	LOI	4.28	%	ICP			

** Accreditation KAN LP-S16-IDN

Dari tabel dan data di atas dapat diambil kesimpulan bahwa *fly ash* yang berasal dari PLTU Bukit Asam Provinsi Sumatera Selatan merupakan kelas F, karena silikon dioksida pada *fly ash* PLTU Bukit Asam Provinsi Sumatera Selatan bernilai 60,04 % sedangkan pada literatur yang ada nilai silikon dioksida *fly ash* jenis F adalah minimum 54,90%. Dan *fly ash* dari PLTU Bukit Asam ini berasal dari batubara keras yang mengkilat (*anthracite*) sesuai dengan jenis *fly ash* kelas F menurut SNI S - 15 -1990 - F.

2.2.2 Kaolin



Gambar 2 *Kaolin*

Kaolin adalah batuan yang tersusun dari mineral lempung dengan kandungan logam yang rendah. Proses pembentukan kaolin adalah karena proses *sedimentasi* (pelapukan) dan proses *hydrothermal alterasi* batuan beku yang banyak mengandung *feldspar* di mana mineral potassium aluminium silikat dan *felspar* diubah menjadi kaolin (Hartomo, 1994). Kaolin sendiri kaya mineral *hidros aluminium* dan silikat, dengan komposisi kimia $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ yang disertai mineral penyerta lainnya. Yang memiliki sifat lunak, halus dan berwarna putih, kaolin sendiri adalah mineral silikat berlapis dengan silika tetrahedral (SiO_4) yang di hubungkan melalui atom oksigen ke octahedral lembaran alumina (AlO_6). Proses pembentukannya dengan cara sedimentasi (pelapukan) dari batuan-batuan alam atau dengan cara *hydro thermal* (pengendapan) dari lumpur.

2.2.3 Karbon Hitam (*Carbon black*)



Gambar 3 *Carbon Blak*

Carbon black (CB) adalah karbon padat yang dimanufaktur pada proses sangat terkontrol untuk memproduksi agregat khusus rekayasa dari partikel karbon yang beragam ukuran partikelnya, ukuran agregat, bentuk, porositas, dan *surface chemistry*. *Carbon black* pada umumnya mengandung 95% karbon murni dan sedikit jumlah oksigen, hidrogen dan nitrogen. Partikel *Carbon black* menyatu membentuk agregat seperti rantai, yang mana menentukan struktur grade. Penggunaan *Carbon black* untuk meningkat sifat fisik, elektrik, dan optikalnya. Penggunaan paling besar CB adalah sebagai *reinforcement* dan penambahan performa pada produk dan meningkatkan ketahanan, *tear - strength*, konduktifitas, dan sifat fisik lainnya. (Orion, 2015)

Carbon black telah digunakan secara tradisional sebagai *reinforcing material* dengan beberapa *reinforcing minor* seperti *clay*, kalsium karbonat dan silikat karena *reinforcement* dengan *Carbon black* untuk *rubber* pada penguatan dan

pengurangan biaya material, dan meningkatkan proses. *Reinforcement* terutama meningkatkan kekuatan dan sifat-sifat yang berhubungan dengan kekuatan seperti *abrasion resistance*, *hardness*, dan modulus (Jawad, 2011).

Tabel 2 Jenis dan type karbon Hitam (Ari P, 2017)

Type	Designation		Production process and feedstock	Average primary particle size (nm)
	Acronym	ASTM		
Super-abrasion furnace black	SAF	N110	Oil furnace	17
Intermediate super-abrasion carbon black	ISAF	N220	Oil furnace	21
High abrasion furnace black	HAF	N330	Oil furnace	31
Fast extruding furnace carbonblack	FF	N550	Oil furnace	53
General-purpose furnace carbonblackblack	GPF	N660	Oil furnace	63
Semi-reinforcing carbon black	SRF	N762	Oil furnace	110
Medium thermal carbon black	MT	N990	Natural gas	320

2.3 Komposit

Secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Jadi komposit adalah suatu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari dua material atau lebih pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat (Jones, 1975). Komposit merupakan campuran antara polimer (bahan *makromolekul* yang diturunkan dari minyak bumi ataupun bahan alam lainnya seperti karet dan serat). Atau 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 dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

1. Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang *ductilen* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat.
2. Matrik, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan *rigiditas* yang lebih rendah.

Keunggulan dari material komposit bila dibandingkan dengan material lainnya diantaranya memiliki kekuatan (*strength*) lebih tinggi, memiliki ketahanan korosi yang baik (*Corrosionresistance*) yang baik, memiliki ketahanan gesek/aus (*Wearresistance*) yang tinggi, tidak terlalu berat (*Weight*), memiliki ketahanan lelah (*Fatiguelife*) yang baik, dapat meningkatkan konduktivitas panas, dan lebih tahan lama (Jones, 1975).

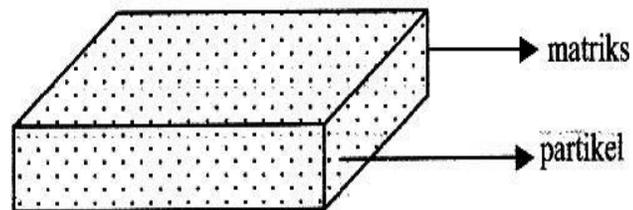
2.3.1 Klasifikasi material komposit

Secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam (Jones, 1975) :

- a. Komposit Serat (*Fibrous Composites*) yang terdiri dari *continous fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat kontinue), *woven fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat anyaman), *chopped fiber composite*

(komposit diperkuat serat pendek/ acak) dan *Hybrid composite* (komposit diperkuat serat kontinyu dan serat acak).

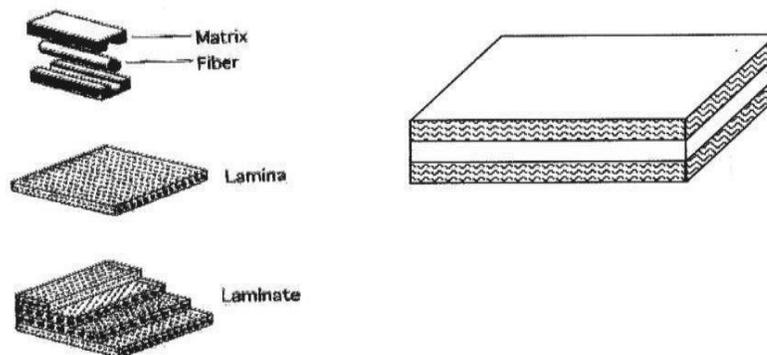
- b. Partikel (*Particulate Composites*) Merupakan komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya.



Gambar 4 *Particulate Composite*

- c. Komposit Lapis (*Laminates Composites*)

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



Gambar 5. *Laminated Composites*

2.4 Sistem Perpipaan

Menurut Moninder (2010) sistem perpipaan adalah sistem saluran yang tertutup yang dipergunakan pendistribusian suatu fluida yang dapat berupa air, gas, minyak ataupun uap. Sistem perpipaan memiliki standar sebagai ukuran layak atau tidaknya sistem perpipaan. Berikut ini adalah tabel 2.5 standar sistem perpipaan

Table 3 kode dan standar perpipaan (Mohinder, 2010).

No	Kode dan Standard	Kegunaan
1	ASME B31.1	<i>Power Piping</i>
2	USAS B31.2	<i>Fuel Gas Piping</i>
3	ASME B31.3	<i>Process Piping</i>
4	ASME B31.4	<i>Liquid Transportation Systems for Hydrocarbons, Liquid Petroleum Gas, Anhydrous Ammonia, and Alcohol</i>
5	ASME B31.5	<i>Refrigeration Piping</i>
6	ASME B31.8	<i>Gas Transmission and Distribution Piping Systems</i>
7	ASME B31.9	<i>Building Services Piping</i>
8	ASME B31.11	<i>Slurry Transportation Piping Systems</i>

- a. Jenis-Jenis Pipa yang digunakan pada umumnya terdiri dari : *Wrought Seamless Pipe (Forged Pipe dan Forged and Bored Pipe), Hollow Forged*

Pipe, Welded Pipe, Wrought-Iron Pipe, Cast Steel Pipe, Cast-Iron Pipe (lampiran 8).

- b. Bahan-bahan pipa secara umum dapat disesuaikan dengan kebutuhan teknik perpipaan dan hal ini dapat dilihat pada kode dan standar. Adapun bahan yang biasa digunakan yaitu *Carbon steel, Carbon moly, Galvanees, Ferro nikel, Stainless steel, PVC* (paralon), *Chrome moly* dan *Keramik pipe* (lampiran 9).

Sedang bahan-bahan pipa yang secara khusus seperti *Vibre glass, Aluminium* (aluminum), *Wrought iron* (besi tanpa tempa), *Copper* (tembaga), *Red brass* (kuningan merah), *Nickel copper* (timah tembaga), *Nickel chrom iron = incomel* (besi timah chrom).

2.5 Sistem Pipa Slury transport

Pada pengaplikasian sistem perpipaan untuk pelapis pipa *slury transport*, beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan bahan dasar pembuatan pipa diantaranya, koefisien gesek rendah, tahan terhadap temperatur tinggi (panas), tahan terhadap korosi, dan memiliki permukaan yang halus untuk mengurangi gesekan. Temperatur fluida material yang dialirkan mencapai 200°C - 280°C berupa abu *fly ash* dan udara bertekanan 7 bar.

2.5.1 Bahan Keramik Matrik Komposit

Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen

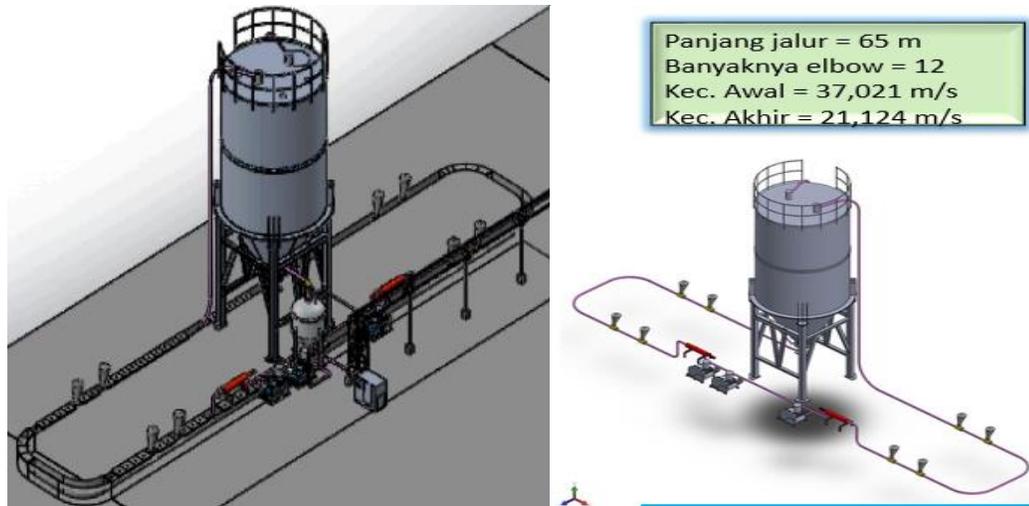
penyusunannya. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat lebih ringan, kekuatan dan ketahanan lebih tinggi, tahan korosi dan ketahanan aus (Smalman dan Bishop, 2000). Pada umumnya bahan yang digunakan untuk pembuatan keramik adalah berupa serbuk kaolin, tanah liat, dan penguat berupa kapur.

2.5.2 Sifat Mekanik bahan pembuat Pipa *Slury transport* .

Banyak faktor yang bisa menjadi penyebab kegagalan pada pipa *slury transport*. Sifat-sifat material pipa, baik sifat mekanik dan fisik material akan mempengaruhi kemampuan pipa menerima beban ketika material limbah melewati pipa sehingga terjadi gesekan. Kondisi pengoperasian *pipa slury transport* akan mempengaruhi pembebanan mekanik pada lapisan pipa. Rancangan dari penambahan lapisan keramik pada bagian dalam pipa akan mempengaruhi kemampuan *pipa slury transport* menerima beban gesekan. Bahan friksi tersusun atas tiga komponen yaitu penguat, bahan pengikat serta bahan pengisi. Abu terbang batubara dapat dijadikan sebagai alternatif serat penguat bahan friksi non logam pada pembuatan *pipa slury transport* .

Karakterisasi yang perlu dilakukan dalam pembuatan *pipa slury transport* adalah kekerasan dan keausan. Kedua hal ini sangat penting karena saling berhubungan satu sama lain. Selain kedua hal tersebut juga perlu dilakukan karakterisasi pada struktur mikronya karena bisa diketahui efek komposisinya. Seringkali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik

pada sifat yang lain, maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan berbagai cara yang diperlukan.



Gambar 6. Penggunaan *pipa slurry transport* di PLTU Bukit Asam

Untuk mendapatkan standar acuan tentang spesifikasi teknik *pipa slurry transport*, nilai kekerasan, keausan, dan sifat mekanik lainnya harus mendekati nilai *material refrence pipa slurry transport* yakni :

- a) Untuk nilai kekerasan sesuai standar keamanan.
- b) Ketahanan panas, untuk pemakaian terus menerus.
- c) Nilai keausan *pipa slurry transport*
- d) Koefisien gesek *pipa slurry transport*
- e) Diameter luar pipa 18 Centimeter
- f) Diameter dalam 10 Centimeter



Gambar 7. Pipa slurry transport eksiting di PLTU Bukit Asam

2.6 Metalurgi Serbuk

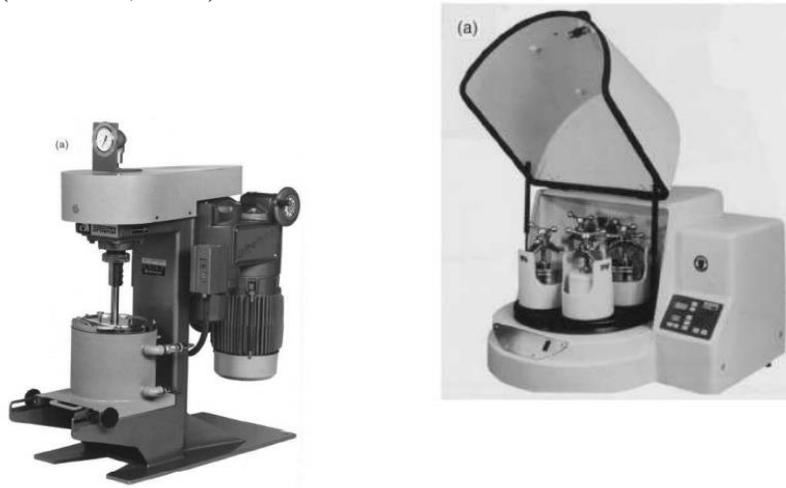
Metalurgi serbuk merupakan proses produksi di mana material awal berbentuk serbuk sebagai bahan utama untuk awal proses pembentukan. Prinsip dari metalurgi serbuk menjadi bahan awal proses produksi dalam pembentukan memiliki prinsip yaitu dengan memadatkan serbuk metalurgi kemudian memanaskan sampai suhu meleleh sehingga partikel-partikel akan lebih homogen karena difusi atom dan permukaan partikel (Hausner et al., 1982).

a. Teknik metalurgi serbuk

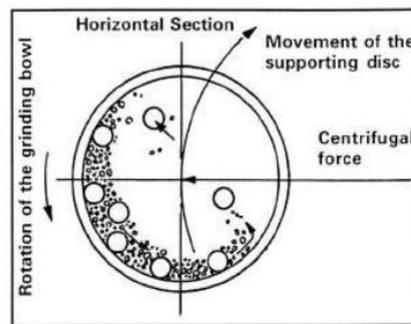
Dalam pembuatan material awal dalam proses produksi dengan teknik metalurgi serbuk memiliki beberapa tahapan yang harus dilakukan supaya mendapatkan hasil yang maksimal dan sesuai dengan material yang diinginkan. Proses tersebut di antaranya pembuatan serbuk, pencampuran, kompaksi, sintering dan *finishing*.

1) Pembuatan serbuk

Dalam pembuatan serbuk metalurgi terdapat beberapa cara dengan menggunakan sistem *ball mill*, *SPEX shaker Mill*, *Attritor mill*, *Comercial mills* (Khausdal, 2007).



Gambar 8. Attritor mill dan *ball mill* (Khausdal, 2007).



Gambar 9. Tipe gaya yang bekerja pada ball mill (Khausdal,2007)

2) Pencampuran serbuk (*mixing*)

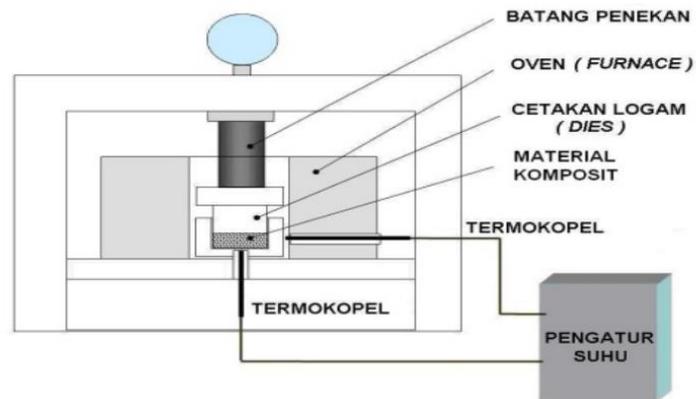
Pada proses pencampuran serbuk material logam maupun non logam agar dapat mendapatkan sifat mekanik dan sifat fisik yang lebih baik. Teknik pencampuran metalurgi serbuk dapat menggunakan teknik pencampuran

basah (*wet mixing*) dan pencampuran kering (*dry mixing*). *Powder flow* merupakan sifat di mana kehomogenan partikel lebih baik. Pembentukan *powder flow* menggunakan pelumasan (*lubricant*). *Binders* yang ditambahkan pada metalurgi serbuk agar dapat meningkatkan *green strength* seperti *wax* dan polimer *thermoplastic*.

3) Kompaksi

Kompaksi merupakan suatu proses pembentukan atau pemampatan serbuk murni maupun paduan dari beberapa jenis serbuk metalurgi sehingga mempunyai bentuk tertentu dan mempunyai kekuatan yang cukup baik untuk proses selanjutnya (German, 1984). Dengan kenaikan tekanan suatu material yang telah dilakukannya kompaksi maka material yang telah terbentuk tersebut akan mengalami kenaikan densitas akan tetapi menyebabkan porositas menurun (Al-Qureishi dkk, 2008). Tekanan pemadatan yang dilakukan untuk metalurgi serbuk tergantung pada jenis serbuk material yang dipakai berkisar 70 Mpa (10 Ksi) sampai dengan 800 Mpa (120 Ksi) (Kalpakjian, 1989).

Dalam kompaksi terdapat beberapa metode yang digunakan di antaranya yaitu penekanan dingin (*cold compaction*), dan penekanan panas (*hot compaction*). Kompaksi dingin dilakukan pada temperatur ruangan dengan beban yang digunakan sekitar 100-900 MPa sehingga akan menghasilkan *green body* (kompaksi mentah). Gambar 13 di bawah ini merupakan skema alat kompaksi.



Gambar 2,10. Skema alat kompaksi (Mustika, 2011)

Untuk setiap material akan mempunyai tingkatan kompaksi maksimal yang dapat dipakai. Pada tabel 8 di bawah ini menjelaskan tipe material dan sifat maksimum kompaksi yang boleh dilakukan.

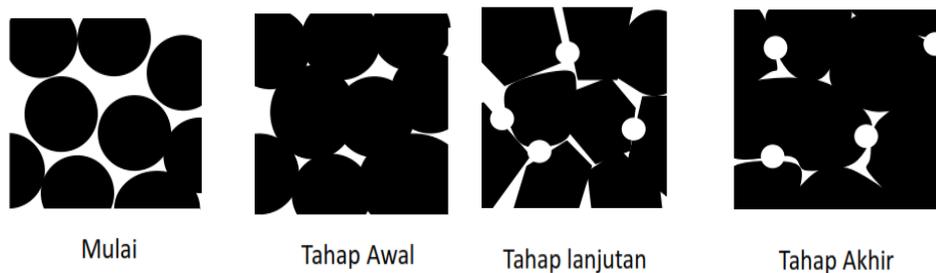
Tabel 4. Tekanan kompaksi dan rasio kompaksi material (Upadhayaya, 2002)

No	Tipe material	Tekanan kompaksi		Rasio kompaksi
		Tsi	N/mm ²	
1	Alumunium	5-20	70 - 280	1,5 to 1,9 : 1
2	Kuningan	30-50	415 – 690	2,4 to 2,6 : 1
3	Perunggu	15-20	205 – 230	2,5 to 2,7 : 1
4	Tembaga-grafit	25 – 30	345 – 415	2,0 to 3,0 :1
5	Carbide	10 – 30	140 – 415	2,0 to 3,0 :1
6	Ferrit	8 – 12	110 – 165	3,0 :1
7	Bantalan besi	15 – 25	205 – 345	2,2 : 1
8	Tipe besi			
9	Densitas rendah	25 – 30	345 – 415	2,0 to 2,4 : 1

10	Densitas menengah	30 – 40	415 – 550	2,1 to 2,5 : 1
11	Densitas tinggi	35 – 60	430 – 825	2,4 to 2,8 : 1
12	Serbuk besi	10 – 50	140 – 690	1,5 to 3,5 : 1
13	tungsten	5 – 10	70 – 140	2,5 :1
14	tantalum	5 – 10	70 – 140	2,5 :1

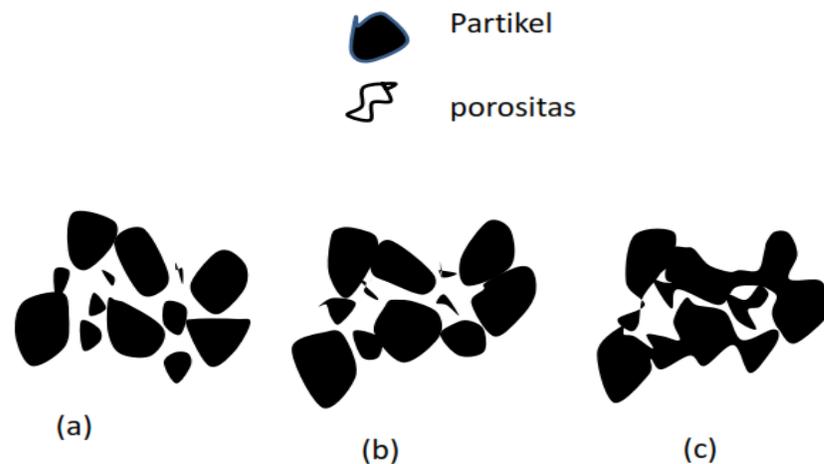
4) Sintering

Sintering merupakan pemanasan material serbuk metalurgi sampai dengan titik leleh partikel material tersebut, walaupun pemanasannya sampai dengan titik leleh tetapi bagian dalam material serbuk metalurgi tersebut masih dalam keadaan *solid* (padat). Untuk temperatur digunakan untuk proses sintering biasanya memakai 70%-90% dari titik lebur logam serbuk metalurgi yang digunakan (Colton, 2009). Sintering dilakukan untuk mendapat ikatan partikel yang lebih baik setelah proses kompaksi (Ekawati, 2008). Pada saat melakukan proses sintering maka akan terjadi pertumbuhan ikatan mikrostruktur antar partikel logam (German, 1994) seperti gambar 14 di bawah ini.



Gambar 11. Pertumbuhan mikrostruktur antar partikel logam selama proses sinter

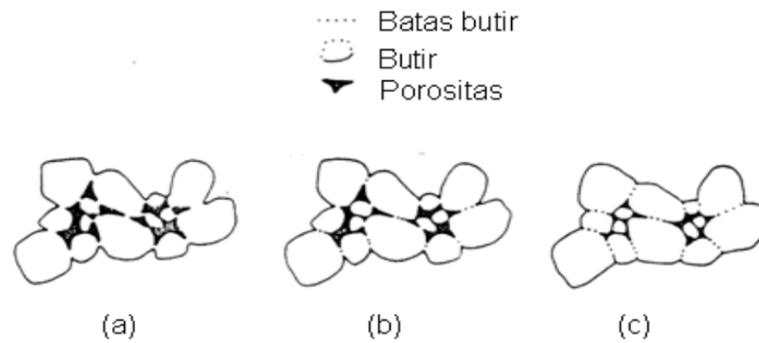
Pada proses sintering formasi partikel akan mengalami pergerakan untuk meningkatkan jumlah titik partikel dan membentuk ikatan pada titik tersebut (German, 1994). Tahapan pertama proses sintering yaitu *initial stage* seperti gambar 15 di bawah ini.



Gambar 12. Proses initial stage

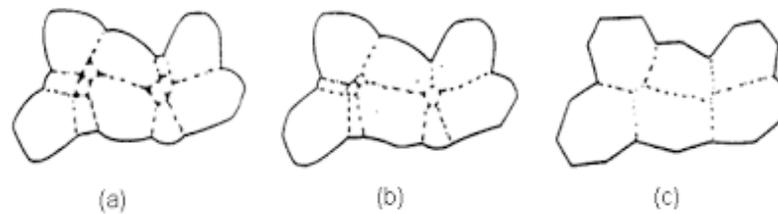
a). Partikel Awal b). penyusunan kembali c). pembentukan formasi

Selanjutnya pada proses pergerakan partikel pada tahap kedua yaitu *intermediate stage*. *Intermedidiete stage* akan membentuk saluran partikel yang saling berhubungan (German,1994). Tahapan proses sintering *intermediate stage* seperti gambar 16 di bawah ini.



Gambar 13. Proses intermediate stage a) Pertumbuhan leher dan volume penyusutan b) perpanjangan batas butir c) pertumbuhan butir berlanjut

Pada tahap terakhir proses pertumbuhan partikel butir pada proses sintering yaitu *final stage* di mana ditandai dengan hilangnya struktur berpori serta yang akan membentuk batas butir. Tahapan proses terakhir sintering *final stage* seperti gambar 17 di bawah ini.



Gambar 14. Proses final stage

- a). Pertumbuhan Leher b). pertumbuhan butir berkurangnya porositas
c). pertumbuhan butir

2.7 Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian pipa keramik bertujuan untuk mengetahui ketahanan aus dan pengujian kekerasan sedangkan analisa dilakukan dengan SEM.

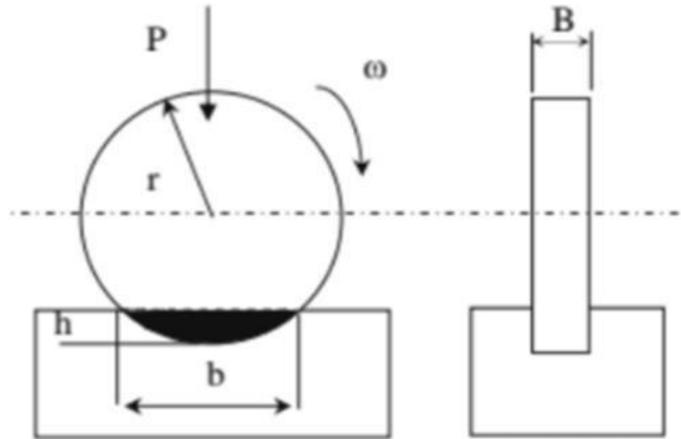
2.7.1 Pengujian Kekerasan.

Kekerasan (*hardness*), dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap deformasi plastis. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*). Kekerasan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan. Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesulitan mengenai spesifikasi. Pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan menekankan penekanan tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya, cara ini dinamakan cara kekerasan penekanan.

2.7.2 Pengujian Keausan

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. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan pengujian laju keausan.

Pengujian laju keausan dinyatakan dengan jumlah kehilangan/ pengurangan spesimen tiap satuan luas bidang kontak dan lama pengausan (Viktor Malau dan Adhika widyaparaga, 2008).



Gambar 15. *Ilustrasi uji keausan*, (Yuono 2008)

Laju keausan dinyatakan dengan :

$$W = \frac{W_0 - W_1}{A \cdot t} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan

W = Laju keausan (g/mm².detik)

W₀ = Berat awal spesimen sebelum pengausan (gram)

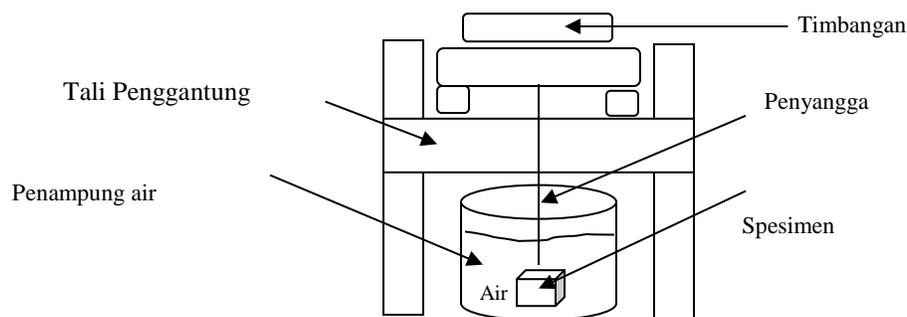
W₁ = Berat akhir spesimen setelah pengausan (gram)

A = Luas bidang kontak dengan pengausan (mm²)

t = Waktu/lama pengausan (detik)

2.7.3 Uji Densitas dan Porositas

Pengujian porositas dan densitas dapat dilakukan dengan metode Archimedes. Besaran yang diukur yaitu massa kering spesimen basah dan massa spesimen di dalam air. Dari hasil pengujian porositas dapat menunjukkan pori yang bersifat heterogen dengan membentuk bulat dengan sel tertutup (Lee et al., 2012). Pada gambar 18 merupakan skema pengujian densitas yaitu sebagai berikut.



Gambar 16. Skema Pengujian Densitas

Untuk pengujian densitas pada magnesium berpori menggunakan persamaan teoritis sesuai dengan ASTM A373-88 yaitu dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{M_k}{M_b - (M_g - M_t)} \times \rho_{air} \dots\dots\dots (1)$$

Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui berapa persentase porositas yang terbentuk pada suatu logam. Uji porositas merupakan kelanjutan dari pengujian densitas dengan menggunakan prinsip Archimedes. Untuk pengujian porositas pada magnesium berpori yaitu hampir sama dengan pengujian densitas dengan standar ASTM A373-88 dengan menghitung terlebih dahulu nilai densitas masing-masing unsur terhadap komposisi paduan dan densitas spesimen pada saat pengujian yang didapatkan pada persamaan (1) untuk mencari nilai porositas yaitu menggunakan persamaan (2) dan persamaan (3) yaitu sebagai berikut :

$$\rho_{\text{teoritis}} = (\rho_{\text{Mg}} \times \% \text{wt Mg}) + (\rho_{\text{Ti}} \times \% \text{wt Ti}) \dots\dots\dots (2)$$

$$\Phi = \frac{(\rho_{\text{teoritik}} - \rho_{\text{aktual}})}{\rho_{\text{teoritik}}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Di mana : ρ_b = Densitas sampel (gr/cm^3)

Φ = Porositas sampel (%)

M_k = Massa sampel kering (gr)

M_b = Massa sampel basah (gr)

M_g = Massa sampel didalam air (gr)

M_t = Massa tali penggantung (gr)

ρ_{air} = Massa jenis cairan infus (gr/cm^3)

2.7.4 Pengujian SEM

SEM adalah sebuah mikroskop elektron yang dapat melakukan pembesaran 10-3 juta kali, *depth of field* 4-0.4 mm dan resolusi sebesar 1-10 nm. SEM memfokuskan sinar elektron di permukaan objek dan mengambil gambarnya. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm, sedangkan elektron dapat mencapai resolusi hingga 0.1-0.2 nm. Dengan menggunakan elektron akan mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Pantulan yang dihasilkan terdiri dari pantulan elastis dan non elastis. Pantulan *non elastis* mendapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar-X, sedangkan pantulan elastis mendapatkan sinyal *backs cattered elektron*



Gambar 17. alat dan proses pengujian SEM

3.1.2. Tempat Penelitian

Adapun pelaksanaan penelitian pengaruh penguat *fly ash* dan *carbon* hitam terhadap sifat keramik kaolin untuk material pelapis pipa logam penyalur limbah *fly ash* dimulai pada bulan September 2019 sampai dengan bulan Juli 2020. Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu sebagai berikut:

- a. Proses dalam hal mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian, proses sintesis *fly ash*, *Carbon black* dan kaolin, proses kompaksi, proses *curing* dilakukan di Laboratorium Teknologi Produksi dan Laboratorium Komposit Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung
- b. Proses pemanasan dan *sintering* dilakukan di laboratoriom terpadu Universitas Lampung.
- c. Proses pengambilan data karakteristik dan pengujian TGA (*thermo gravimetric analyzer*) dilakukan di Laboratorium Analis Kimia PLN Unit Pelaksana Pembangkit Bukit Asam Tanjung Enim, Sumatera Selatan
- d. Proses pengambilan data pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Analis Kimia PLN Unit Pelaksana Pembangkit Bukit Asam Tanjung Enim, Sumatera Selatan
- e. Proses pengambilan data pengujian keausan dilakukan di Laboratorium Universitas Indonesia.

3.2. Bahan Pembuatan

Bahan pembuatan beserta spesifikasinya yang digunakan dalam penelitian pengaruh penguat *fly ash*, Kaolin dan *Carbon black* terhadap *sifly ash* t keramik kaolin untuk material pelapis pipa logam penyalur limbah *fly ash* yaitu sebagai berikut :

a. *Fly ash*

Dalam penelitian ini digunakan *fly ash type F*, dari abu sisa pembakaran batu bara di PLTU Bukit Asam Tanjung Enim. di mana *fly ash* yang digunakan merupakan variable tetap yaitu dengan ukuran ayakan 200 mesh. Sehingga dihasilkan serbuk *fly ash* dengan ukuran kurang dari 200 μm . Dapat dilihat pada gambar 3.1 dan spesifikasi *fly ash* di PLTU Bukit Asam pada tabel 12 yaitu sebagai berikut:

Tabel 6. *Sifly ash* t Fisik dan Mekanik *fly ash*

Titik Lebur	1300 °C
Titik leleh	1200 °C
Masa jenis	2,2-2,4
Kerapatan Massa (ρ)	2100 - 3000 g/cm³



Gambar 19. Serbuk *fly ash*

b. Kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)



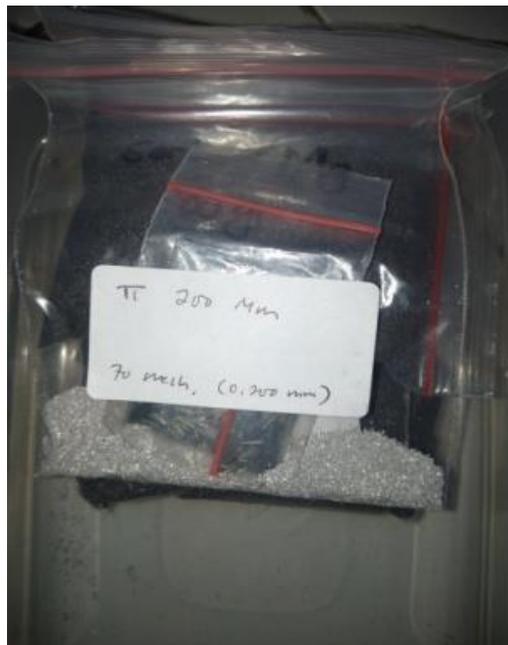
Gambar 20. Serbuk Kaolin

Tabel 7. Sifat Fisik, Mekanik dan Kimia Kaolin (Kaolin)

Nama, Simbol	Kaolin
Nomor Atom	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Struktur Kristal	680 °C
Titik Lebur	1700 – 1785 °C

Kaolin yang digunakan dalam bentuk serbuk dengan ukuran ayakan 200 mesh dengan ukuran serbuk 74 μm . Kaolin dapat dilihat pada gambar 20 dan spesifikasi Kaolin pada tabel 7

c. Serbuk Karbon Hitam (*Carbon black*)

Gambar 21. Serbuk *Carbon black*

Tabel 8. Spesifikasi karbon hitam (*CARBON BLACK*)

Nama	Karbon Hitam (<i>CARBON BLACK</i>)
Massa terbawah	50 g/m ³
Berat molekul	18 kg/kmol
Struktur Kristal	<i>Kubus – rombus</i> acuan muka
Kerapatan	1,7 – 1,9 gr/cm
Laju kenaikan tekan maksimal	30 - 400 bar/sekon (VDI 2263 dan ASTM E1226 - 88)

Serbuk Karbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk karbon hitam N 220, yang telah diayak sehingga berukuran kurang dari 200 mesh. Serbuk Karbon sendiri digunakan karena untuk menambah meningkatkan ketahanan aus. Di mana *carbon* hitam yang digunakan merupakan variable tetap yaitu dengan ukuran ayakan 200 mesh. Sehingga dihasilkan serbuk *fly ash* dengan ukuran kurang dari 74 μ m. Dapat dilihat pada gambar 3.3 dan spesifikasi *carbon* hitam pada tabel 3.4 yaitu sebagai berikut:

3.3 Alat

Alat beserta spesifikasinya yang digunakan dalam penelitian pengaruh penguat *fly ash* dan *carbon hitam* terhadap *fly ash* t keramik kaolin untuk material pelapis pipa logam penyalur limbah *fly ash* yaitu sebagai berikut :

a. Pembuatan serbuk

Pembuatan serbuk dengan menggunakan mesin *ball mill* di lab batu bara PLN UPK Bukit Asam, di mana material di mana material padat dimasukkan ke dalam *dies* yang berisikan bola baja dengan ukuran tertentu kemudian *dies* diputar dengan kecepatan tinggi sehingga menyebabkan adanya gaya tumbukan dan gaya gesek antara bola baja terhadap material padat tersebut sehingga akan menghasilkan serbuk material dengan ukuran partikel-partikel yang relative kecil.



Gambar 22. *Ball mill* di PLN UPK Bukit Asam

Tabel 9. Spesifikasi *ball mill* di PLN UPK Bukit Asam

Nama	Ball Mil STJ 251
Daya motor	0,09 KW
Berat	7,8 kg
Jumlah grinding	1
Dimensi disk	190 x 298
Kecepatan	1450 rpm

b. Oven Pemanas

Sebelum mengayak, bahan baku harus dipanaskan terlebih dahulu agar kandungan air di dalam bahan hilang sehingga mudah diayak. *Oven* yang digunakan *Oven elektrik type manual* mempunyai kapasitas 20 kg, dengan 4 tingkat.



Gambar 23. *Oven* elektrik di PLN UPK Bukit Asam

Tabel 10. Spesifikasi *Oven Electric* di PLN UPK Bukit Asam

Nama	Portab UN 110
<i>Temperature max</i>	290 °C
Dimensi	560 x 460 x 400
Voltage	230 v, 50/60 HZ, 2800 W
Tingkatan	4 tingkat

c. Mesin pengayak

Untuk mesin Ayakan yang digunakan mesin ayak octagon *type* digital mempunyai kapasitas 2 kg, dengan 4 tingkat, tingkat pertama ukuran 50 mesh, tingkat ke 2 ukuran 100 mesh, tingkat ke 3 ukuran 150 mesh, dan tingkat ke 4 ukuran 200 mesh.



Gambar 24. Mesin pengayak di PLN UPK Bukit Asam

Tabel 11. Spesifikasi Mesin pengayak di PLN UPK Bukit Asam

Nama	Octagon M 50 L
Ukuran (mesh)	250, 200, 100, 50
Diameter	20 cm
Bahan ayakan	Stainless Steel
Daya	25 watt

d. Timbangan digital

Timbangan digital yang digunakan adalah timbangan sartorius dengan *type* 124-1S dengan ketelitian 0,001 dan memiliki tutup agar udara tidak masuk dan mempengaruhi berat, yang digunakan untuk menimbang bahan bahan.



Gambar 25. Timbangan digital di PLN UPK Bukit Asam

Tabel 12. Spesifikasi Timbangan di PLN UPK Bukit Asam

Nama	Sartorius 500 A
Kapasitas maksimum	1000 gr
Ketelitian	0,01 gr
Tarafaction	TARE (electronic balance)
Daya	0.5 watt

e. *Mixer pengaduk (jar test)*

Mesin pengaduk yang digunakan adalah mesin jar test dengan *type* manual speed yang digunakan untuk pencampuran bahan, kecepatan putar adukan bias di atur manual 0 – 590 rpm. Di mana bahan yang sudah di timbang dimasukan ke dalam gelas ukur kemudian di aduk selama 4 jam dengan kecepatan 60 rpm.



Gambar 26. Mesin *Jar test* dan gelas ukur di PLN UPK Bukit Asam

Tabel 13. Spesifikasi Mesin *Jar test* di PLN UPK Bukit Asam

Nama	Velp Floculator JLT 6
Power	19 Watt
Dimensi	935 x 347 x 260
Weight	7 kg
Electronic speed	10 rpm – 300 rpm

Tabel 14. Spesifikasi Gelas Ukur di PLN UPK Bukit Asam

Nama	Tirex Fibre glass
Dimensi	60 x 72
Bahan	Fiber glass
Kapasitas max	1000 liter

f. Mesin Press Hidraulik.

Mesin *press hidraulik* yang digunakan mempunyai kapasitas 20 Ton atau 200.000 N. Untuk keterangan dapat dilihat pada gambar 27 dan 28 spesifikasi mesin dapat dilihat pada tabel 14 dan 15 yaitu sebagai berikut :

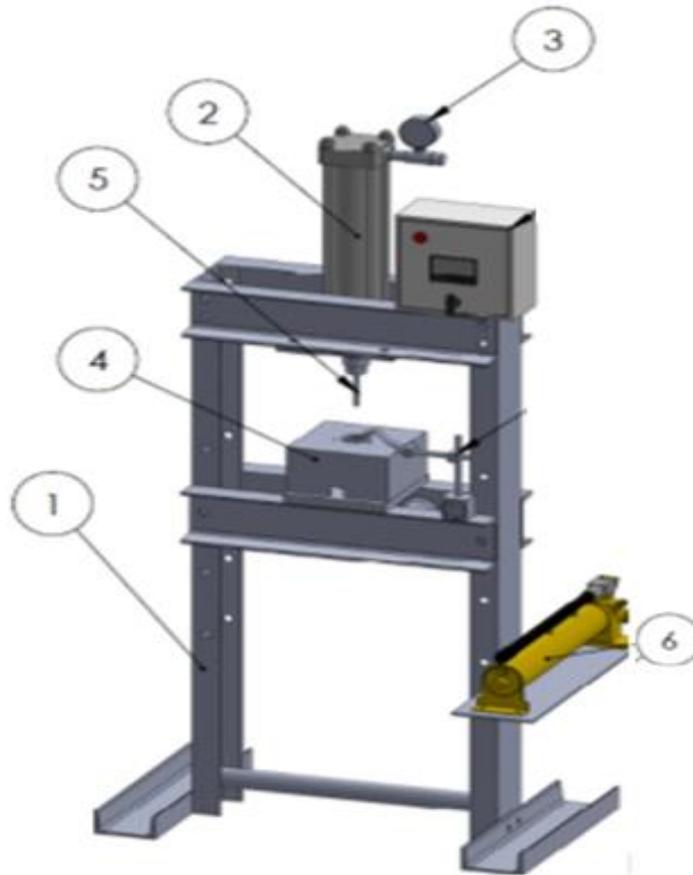


Gambar 27. Mesin Press Hidraulik

Tabel 14. Dimensi dan Spesifikasi Alat Mesin Press Hidraulik

Nama Mesin	<i>Hydraulic Hand Pump</i>
Model	SPH-1200
<i>Pressure Rating</i>	700 kg/cm² (10.000 psi)
<i>Usable Oil Cap</i>	1200 c.c
<i>Hydraulic Oil</i>	R 22 atau SAE 10#
t Kontruksi	130 cm
L Kontruksi	60 cm
P Kontruksi	22 cm
<i>Capacity Pressure</i>	20 Ton

Rangkaian keseluruhan alat pembentukan keramik pelapis pipa



Gambar 28. Perangkat Sintesis Kompaksi pelapis pipa (Wakhid, 2017)

Tabel 15. Nama komponen perangkat kompaksi dan fungsinya (Wakhid, 2017)

No	Nama Komponen	Fungsi Komponen
1	Rangka Mesin Press	Tempat dudukan dari semua komponen penyusun
2	Silinder Hidrolik	Memberikan gaya tekan hidolik
3	Manometer hidolik	Membaca tekanan hidroltik mesin pres

4	Unit Casting	Tempat material dilakukan proses kompaksi
5	<i>Punch and disk</i>	Menekan material dengan tenaga hidrolik dari silinder
6	Pompa hidrolik	Memberikan tekanan hidolik pada silinder hidrolik

g. Cetakan Spesimen (Perangkat Kompaksi)

Perangkat yang digunakan untuk kompaksi dan proses *sintering* dengan menggunakan *furnace* dapat dilihat pada gambar dan spesifikasi alat kompaksi pada tabel 14 yaitu sebagai berikut :



Gambar 29. Alat Kompaksi *Dies dan Punch*

Tabel 16. Dimensi dan Spesifikasi Alat kompaksi

Nama Alat	-
<i>Pressure Max</i>	55 ton
Dimensi lubang	20 mm
Dimensi lubang	30 x 55 x 55
Dimensi lubang	30 x 30 x 55
<i>Bahan</i>	<i>Carbon meet steel st 90</i>

h. Furnace dan kelengkapannya

Kaolin, *Carbon Blak* dan *fly ash* merupakan material yang dapat menyatu dalam bentuk serbuk dengan temperature lebih dari 800 °C. Dalam penelitian ini memerlukan furnace guna menyatukan campuran serbuk pada saat *sintering* di temperatur yang tinggi. Mekanisme saat sintering dilakukan dengan mencetak terlebih dahulu material kemudian ditekan dengan tekanan 26 mpa. Setelah serbuk sudah di keluarkan baru dimasukan dalam furnace.



Gambar 30. Furnace laboratorium metalurgi UNILA

Tabel 17. Spesifikasi *Oven Electric* di laboratorium terpadu UNILA

Nama	Portab UN 110
<i>Temperature max</i>	1490 °C
Dimensi	560 x 460 x 400
Voltage	230 v, 50/60 HZ, 2800 W
Tingkatan	4 tingkat

i. Kelengkapan K3

Kelengkapan K3 diperlukan untuk menjaga keamanan peneliti supaya dalam proses penelitian dalam keadaan aman dikarenakan penelitian dilakukan dengan menggunakan bahan yang sangat mudah terbakar, adapun APD yang digunakan adalah, sarung tangan, masker, kacamata dan sepatu.

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan untuk mendapatkan data hasil penelitian untuk beberapa parameter yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian menggunakan beberapa alat uji. Parameter pengujian berdasarkan variasi Komposisi Antar Sampel Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kandungan serbuk spesimen. Berikut prosedur Pembuatan Keramik pelapis pipa yaitu sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat dan bahan
- b. Melakukan proses penghancuran di *ball mill* jika bahan masih belum halus
- c. Melakukan pengovenan bahan kaolin, *Carbon black*, dan *fly ash* dengan temperature 105 °C agar bahan tidak lengket saat diayak.
- d. Melakukan pengayakan dengan vibrating screen.
- e. Melakukan penimbangan bahan setelah itu masukan ke dalam plastic.
- f. Melakukan pencampuran spesimen, dengan menggunakan jar test selama 4 jam dengan kecepatan 60 rpm.
- g. *Sintering* bahan spesimen hasil pencampuran, kedalam *microwave* selama 3 jam.
- h. Melakukan pengujian TGA, untuk mengetahui weight lose tertinggi, kemudian dilakukan pemilihan sampel berdasarkan weight lose tertinggi.
- i. Melakukan kompaksi dengan menggunakan cetakan dan press hidraulik, dengan diameter batang penekan 10 cm dan tekan cetakan sampai pressure maksimum 20 ton (2.498 MPa) dengan kenaikan tekanan 5 ton (624,6 MPa), di tahan selama 5 menit.

- j. Melakukan pengeringan spesimen selama 2 jam di furnace dengan temperature 800 °C dengan kenaikan suhu 5 °C per menit
- k. Mendinginkan spesimen dengan mendinginkan pada furnace sampai temperature ruangan kemudian menggunakan spesimen.

3.4.1 Prosedur perhitungan pencampuran spesimen

- a. Komposisi Spesimen Kaolin dan Karbon Hitam.

Tabel 18. Komposisi Spesimen Kaolin dan Karbon Hitam

No	Kode Spesimen	Komposisi Spesimen	
		Karbon Black (%)	Kaolin (%)
1	KC 90 1	10	90
	KC 90 2		
	KC 90 3		
	KC 90 4		
	KC 90 5		
2	KC 80 1	20	80
	KC 80 2		
	KC 80 3		
	KC 80 4		
	KC 80 5		
3	KC 70 1	30	70
	KC 70 2		
	KC 70 3		
	KC 70 4		
	KC 70 5		
	C 100 1		

4	C 100 2	0	100
	C 100 3		
	C 100 4		
	C 100 5		

b. Komposisi Spesimen Kaolin, *fly ash* dan Karbon Hitam

Tabel 19. Komposisi Spesimen Kaolin, *fly ash* dan Karbon Hitam

No	Kode Spesimen	Komposisi Spesimen		
		Karbon Black (%)	<i>Fly ash</i> (%)	Kaolin (%)
1	KCF 70 1	10	20	70
	KCF 70 2			
	KCF 70 3			
	KCF 70 4			
	KCF 70 5			
2	KCF 60 1	10	30	60
	KCF 60 2			
	KCF 60 3			
	KCF 60 4			
	KCF 60 5			
3	KCF 50 1	10	40	50
	KCF 50 2			
	KCF 50 3			
	KCF 50 4			
	KCF 50 5			

c. Komposisi Spesimen Kaolin, dan *fly ash*Tabel 20. Komposisi Spesimen Kaolin, dan *fly ash*

No	Kode Spesimen	Komposisi Spesimen	
		<i>fly ash</i> (%)	Kaolin (%)
1	KF 70 1	30	70
	KF 70 2		
	KF 70 3		
	KF 70 4		
	KF 70 5		
2	KF 60 1	40	60
	KF 60 2		
	KF 60 3		
	KF 60 4		
	KF 60 5		
3	KF 50 1	50	50
	KF 50 2		
	KF 50 3		
	KF 50 4		
	KF 50 5		

Dari tabel tersebut menjelaskan tentang parameter yang akan dilakukan untuk proses kompaksi serbuk *fly ash* - kaolin, dengan variasi parameter komposisi serbuk sebelum pencampuran dan sintering. Campuran Kaolin dicampur dengan serbuk *carbon* serta sebagai variabel tetap yang digunakan yaitu variasi tekanan, *holding time* dan ukuran serbuk kaolin dan *fly ash*. Banyaknya serbuk yang digunakan pada kaolin- *fly ash* disesuaikan dengan kesediaan serbuk kaolin - *fly*

ash dengan perbandingan pada tabel. Untuk pelaksanaan penelitian akan dijelaskan pada prosedur penelitian yaitu sebagai berikut :

3.4.2 Prosedur Persiapan Bahan sebagai berikut (lampiran 12):

- 1) Mempersiapkan serbuk *fly ash* dengan ukuran 200 mesh.
- 2) Mempersiapkan serbuk kaolin dengan ukuran 200 mesh.
- 3) Mempersiapkan serbuk *Carbon black* dengan ukuran 200 mesh

3.4.3. Prosedur Pencampuran Bahan

1. Prosedur Pencampuran Serbuk kaolin - *fly ash* (*Manual Stirring*) yaitu sebagai berikut (lampiran 13) :
 - a. Mencampurkan serbuk *fly ash* ukuran 200 μm dengan serbuk Kaolin ukuran 200 μm dengan perbandingan massa *fly ash* sesuai tabel variasi, di mana jumlah komposisi Kaolin dikali 100 % kemudian dikali berat spesimen keseluruhan dan masa *fly ash* dikali 100 % kemudian dikali berat spesimen keseluruhan.
 - b. Melakukan pengadukan secara manual menggunakan *jar test* selama 2 menit. Gambar 36 merupakan hasil pencampuran serbuk *fly ash* dan Kaolin yaitu sebagai berikut:



Gambar 31. campuran serbuk *fly ash* dan Kaolin

2. Prosedur Pencampuran Serbuk kaolin – *Carbon black* - *fly ash* (*Manual Stirring*) sebagai berikut :
 - a. Mencampurkan serbuk *fly ash* ukuran 200 μm dengan serbuk kaolin ukuran 200 μm dan serbuk *Carbon black* ukuran 200 μm dengan perbandingan massa *fly ash* sesuai table variasi, di mana jumlah komposisi kaolin dikali 100 % kemudian dikali berat spesimen keseluruhan dan masa *fly ash* dikali 100 % kemudian dikali berat spesimen keseluruhan.
 - b. Melakukan pengadukan secara manual menggunakan *jar test* selama 3 jam . Gambar 3.17 merupakan hasil pencampuran serbuk *fly ash* dan kaolin yaitu sebagai berikut:



Gambar 32. Campuran serbuk *fly ash*, *Carbon black* dan kaolin

3. Prosedur pencampuran serbuk *Carbon black* – *fly ash* (*Manual Stirring*)

Adapun prosedur pencampuran *Carbon black* - *fly ash* yaitu sebagai berikut :

- a) Mencampurkan serbuk *fly ash* ukuran 200 μm dengan serbuk *Carbon black* ukuran 200 μm dengan perbandingan massa *fly ash* sesuai table variasi, di mana jumlah komposisi Kaolin dikali 100 % kemudian dikali berat spesimen keseluruhan dan masa *fly ash* dikali 100 % kemudian dikali berat spesimen keseluruhan.
- b) Melakukan pengadukan secara manual menggunakan *jar test* selama 3 jam. Gambar 318 merupakan hasil pencampuran serbuk *fly ash* dan Kaolin yaitu sebagai berikut:



Gambar 33. campuran serbuk *fly ash* dan *carbon black*

3.4.4. Prosedur sintering bahan

Adapun prosedur sintering serbuk material kaolin, *fly ash* dan *carbon black* di *microwave* selama 3 jam, berfungsi untuk menghilangkan kadar air dan mineral, berikut prosedur sintering sebagai berikut:

- a. Menghidupkan *microwave control* temperatur unit ke posisi *on* sampai lampu hijau menyala.
- b. Memasukan bahan kedalam *microwave* dengan meletakkan serbuk di atas nampan.
- c. Mengatur suhu *microwave* dengan temperatur sampai sebesar 400 °C dengan cara memutar *mode*, kemudian putar selector kenaikan temperature maksimum 400 °C. setelah itu putar timer waktu maksimum 60 menit (di ulang sebanyak 3 x) maka lampu indikator akan menyala maka *output* suhu sudah siap. Gambar 39 merupakan proses sintering pada suhu $\pm 400^{\circ}\text{C}$.

- d. Diamkan spesimen sampai suhu ruangan kemudian keluarkan spesimen dengan membuka kunci penahan dan menarik penahan pada *microwave* dan menarik kembali spesimen sampai keluar

3.4.5. Prosedur Kompaksi Serbuk Kaolin

Adapun prosedur kompaksi campuran serbuk kaolin, *carbon black* dan *fly ash* yaitu sebagai berikut :

- a. Memasang dan mengintalasi perangkat alat kompaksi ke mesin *press* hidraulik.
- b. Memasang penahan pada *dies* (cetakan) dan memasang kunci penahan pada dudukan cetakan
- c. Memasukan campuran serbuk kaolin, *carbon black* dan *fly ash* kedalam *dies* dengan perbandingan massa Kaolin : *fly ash* sesuai table.

Gambar 17 merupakan gambar perangkat kompaksi



Gambar 34. Perangkat alat kompaksi

- d. Menekan pompa hidraulik sebesar 60 MPa selama 2 menit. Gambar 18 di bawah ini merupakan spesimen awal kompaksi sebelum diberikan sintering.



Gambar 35. Spesimen awal kompaksi sebelum di *Oven*

- e. Membuka kunci penahan dan menarik penahan pada *dies*
f. Memompa kembali hidraulik sampai spesimen keluar dari *dies*.
g. Memasang kembali penahan pada *dies* (cetakan) dan memasang kunci penahan pada dudukan cetakan

3.5 Pengujian Keramik pelapis pipa

Pengujian keramik pelapis pipa bertujuan untuk mengetahui kualitas hasil kompaksi serbuk dan pembentukan pori dengan pengujian densitas dan porositas, uji

struktur mikro dan uji kekerasan vickers, pengujian keramik pelapis pipa dapat dijelaskan yaitu sebagai berikut :

3.5.1 Pengujian *thermo gravimetric analyzer* (TGA)

Pengujian TGA, alat uji yang kami gunakan LECO *Type* TGA 701 menggunakan pemanasan 750 dan 950 °C, dengan maksimal 12 sampel sekali pengujian. Pada preparasi yang dilakukan sebelum dilakukannya pengujian yaitu melakukan mengayakan sampai 200 mesh, kemudian dilakukan pencampuran dan penimbangan dengan masa 1 gram, setelah itu dipanaskan di temperature 250 °C. Hasil analisis *thermo gravimetric analyzer* (TGA) dapat menentukan ash dry, proximate analysis, moisture dan weight loss maksimum, selama 4,5 jam pengujian dengan masing-masing perbedaan komposisi:



Gambar 36. Alat Uji TGA (*thermo gravimetric analyzer*)Tabel 21. Spesifikasi Alat Uji TGA (*thermo gravimetric analyzer*)

Alat Uji	<i>Thermo Gravimetric Analyzer</i>
Type Alat	LECO 700
Standar Uji	ASTM E 92
Ukuran Maks. Sampel	200 mikron
Massa Maks. Sampel	100 gram
Temperatur	700° ± 955° C
Kelembapan	40 – 70%
Dimensi Spesimen	Diameter 4 cm

Pada pengamatan TGA, alat uji yang kami gunakan LECO *Type* TGA 701 menggunakan pemanasan 750 dan 950 °C, dengan maksimal 12 sampel sekali pengujian. Pada preparasi yang dilakukan sebelum dilakukannya pengujian yaitu melakukan mengayakan sampai 200 mesh, kemudian dilakukan pencampuran dan penimbangan dengan masa 1 gram, setelah itu dipanaskan di temperature 250 °C. Hasil analisis *thermo gravimetric analyzer* (TGA) dapat menentukan ash dry, proximate analysis, moisture dan weight loss maksimum, selama 4,5 jam pengujian dengan masing-masing perbedaan komposisi:

Tabel 22 Hasil pengujian tga temperature 750 °C

No	Komposisi	Nilai Weight Loss Maksimum		
		Moisture	Ash	Ash Dry
Temperatur 700 derajat celcius				
1	KC 70			
2	KC 80			
3	KC 90			
4	KCF 50			
5	KCF 60			
6	KCF 70			
7	KCF 80			
8	KF 50			
9	KF 60			
10	KF 70			
11	K 100			
12	F 100			

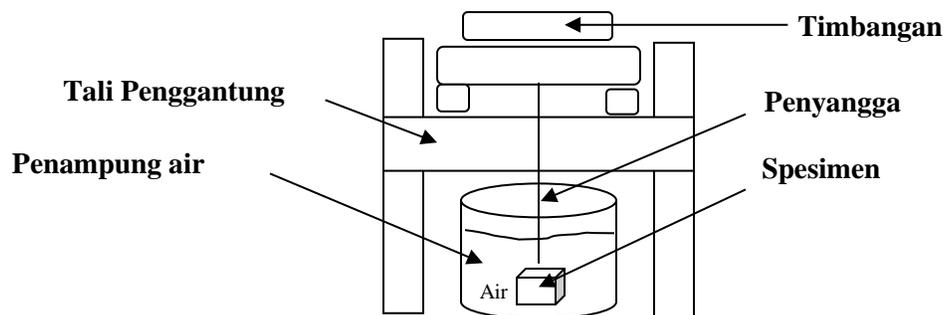
Tabel 23 Hasil pengujian TGA temperature 750 derajat celcius

No	Komposisi	Hasil Pengujian TGA	
		Temperature Max	Weight loss
1	KC 70		
2	KC 80		
3	KC 90		

4	KCF 50		
5	KCF 60		
6	KCF 70		
7	KCF 80		
8	KF 50		
9	KF 60		
10	KF 70		
11	K 100		
12	F 100		

3.5.2. Pengujian Porositas dan Densitas

Pengujian porositas dan densitas dapat dilakukan dengan metode Archimedes. Besaran yang diukur yaitu massa kering spesimen basah dan massa spesimen di dalam air. Dari hasil pengujian porositas dapat menunjukkan pori yang bersifat heterogen dengan membentuk bulat dengan sel tertutup (Lee et al., 2012). Pada gambar 18 merupakan skema pengujian densitas yaitu sebagai berikut.



Gambar 37. Skema Pengujian Densitas

Untuk pengujian densitas pada magnesium berpori menggunakan persamaan teoritis sesuai dengan ASTM A373-88 yaitu dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{M_k}{M_b - (M_g - M_t)} \times \rho_{\text{air}} \dots\dots\dots (1)$$

Di mana : ρ_b = Densitas sampel (gr/cm³)

M_k = Massa sampel kering (gr)

M_b = Massa sampel basah (gr)

M_g = Massa sampel didalam air (gr)

M_t = Massa tali penggantung (gr)

ρ_{air} = Massa jenis Air (gr/cm³)

Tabel 24. Data Hasil Pengujian keramik pelapis pipa

No.	Spesimen	Massa Spesimen									Densitas rata-rata (gram/cm ³)
		Mk (gram)			Mb (gram)			CaCo (gram)			
1	KC 90										
2	KCF 50										
3	KF 50										
4	K 100										
5	F 100										
6	MR										

Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui berapa persentase porositas yang terbentuk pada suatu logam. Uji porositas merupakan kelanjutan dari pengujian densitas dengan menggunakan prinsip Archimedes. Untuk pengujian porositas pada magnesium berpori yaitu hampir sama dengan pengujian densitas dengan standar ASTM A373-88 dengan menghitung terlebih dahulu nilai densitas masing-masing unsur terhadap komposisi paduan densitas spesimen pada saat pengujian yang didapatkan pada persamaan (1) untuk mencari nilai porositas yaitu menggunakan persamaan (2) dan persamaan (3) yaitu sebagai berikut :

$$\Phi = \frac{M_b - M_k}{M_b - (M_g - M_t)} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Di mana : Φ = porositas sampel (%)

M_k = Massa sampel kering (gr)

M_b = Massa sampel basah (gr)

M_g = Massa sampel di gantung dalam air (gr)

M_t = Massa tali penggantung (gr)

ρ_{air} = Massa jenis Air (gr/cm³)

Tabel 25. Data Hasil Pengujian Porositas Keramik Pelapis Pipa

No.	Sampel	ρ_{teori}	ρ_{aktual}	
-----	--------	-----------------------	------------------------	--

		Densitas Perhitungan (gram/cm ³)	Densitas Rata-Rata (gram/cm ³)	Porositas (%)
1	KC 90			
2	KCF 50			
3	KF 50			
4	K 100			
5	F 100			
6	MR			

3.5.3. Alat Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan vickers skala mikro (*Vickers Micro Hardness*). Untuk alat uji kekerasan dapat dilihat pada gambar 32 dan spesifikasi alat uji pada tabel 20 yaitu sebagai berikut :



Gambar 38. Alat Uji Kekerasan Vickers (Digital Vickers Micro Hardness)

Tabel 26. Spesifikasi Alat Uji Vickers Micro Hardness

Alat Uji Kekerasan	<i>Vickers Micro Hardness</i>
<i>Type Alat</i>	Zwick Roell (Emco – Test)
Standar Uji Logam	ASTM E 384 – 0,5a
Pembebanan	0.001 HV – 20 HV
<i>Objektif Lens</i>	10x, 20x, 40x, 60x
Temperatur	28° ± 5° C
Kelembapan	40 – 70%
Dimensi Spesimen	3 x 3 x 0.5 cm

Pengujian kekerasan keramik pelapis pipa menggunakan alat uji *Vickers Micro Hardness* (VHN). Pengujian dilakukan di 5 titik uji pada spesimen dan waktu indentasi selama 15 detik. Sampel yang digunakan adalah sampel yang memiliki nilai weight loss tertinggi pada pengujian TGA.

Tabel 27. Data Pengujian Kekerasan Spesimen Kaolin, dan Karbon Hitam

No	Komposisi	Nilai Kekerasan VHN			Rata Rata
		1	2	3	
	KC 90 1				
	KC 90 2				
	KC 90 3				
	KC 90 4				
	KC 90 5				

Tabel 28. Data Pengujian Kekerasan Spesimen Kaolin, Karbon Hitam dan *fly ash*

No	Komposisi	Nilai Kekerasan VHN			Rata Rata
		1	2	3	
2	KCF 50 1				
	KCF 50 2				
	KCF 50 3				
	KCF 50 4				
	KCF 50 5				
3	K 100 1				
	K 100 2				
	K 100 3				
	K 100 4				
	K 100 5				

Tabel 29. Data Pengujian Kekerasan Spesimen Kaolin, dan *fly ash*

No	Komposisi	Nilai Kekerasan VHN			Rata Rata
		1	2	3	
4	KF 50 1				
	KF 50 2				
	KF 50 3				
	KF 50 4				
	KF 50 5				
5	F 100 1				
	F 100 2				
	F 100 3				

	F 100 4				
	F 100 5				

3.5.4. Pengujian ketahanan aus

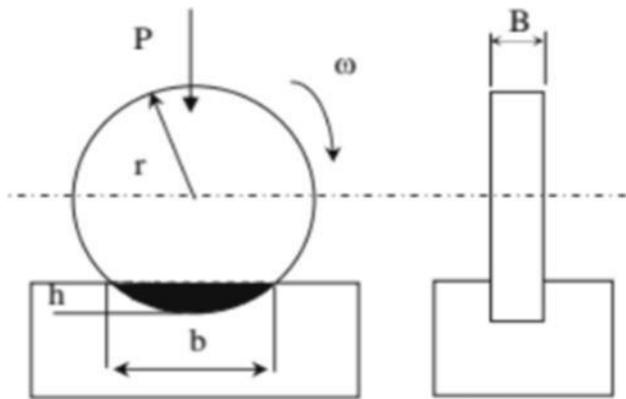
Mesin uji laju keausan adalah peralatan yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keausan suatu bahan, sehingga dapat diketahui standar kualitas suatu produk dan dapat menentukan kualitas dan usia pakai produk. Metode yang digunakan dengan melakukan gesekan berulang pada permukaan spesimen kemudian diamati. Pada penelitian ini digunakan mesin uji *Ogoshi (universal wear testing machine type OAT – U)*, ditunjukkan pada gambar 3.2:



Gambar 39 Mesin *Ogoshi type OAT – U* (Fly ash thliansyah, 2016)

Uji ketahanan aus sesuai dengan standar ASTM G 99 – 95 dengan metode *ogoshi* di mana benda uji memperoleh beban gesek dari disk yang berputar

(*revolving disc*). Di mana pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang ulang yang pada ahirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya bekas permukaan yang tergesek inilah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Ilustrasi permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan pada gambar 3.15 (Yuwono, 2009)



Gambar 40. Ilustrasi pengujian keausan (Yuwono, 2009)

Keterangan :

P : Beban

h : Kedalaman bekas injakan

r : Jari- jari *revolving disc*

b : Lebar bekas injakan

B : Tebal *revolving disc*

ω : Kecepatan putar

Rumus uji keausan yaitu sebagai berikut :

$$W_s = \frac{B \cdot b^3}{12 r \cdot x} \dots \dots \dots (3.4)$$

Di mana:

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 (mm³/mm)

Tabel 30. Data Pengujian Keausan Spesimen Kaolin, dan Karbon Hitam

No	Kode Spesimen	Komposisi Spesimen		
		d (mm)	b (mm)	c (mm)
1	KC 90 1			
	KC 90 2			
	KC 90 3			
	KC 90 4			
	KC 90 5			
	Rata rata			

Tabel 31. Data Pengujian Keausan Spesimen Kaolin, Karbon Hitam dan *fly ash*

No	Kode Spesimen	Komposisi Spesimen		
		d (mm)	b (mm)	c (mm)
2	KCF 50 1			
	KCF 50 2			
	KCF 50 3			
	KCF 50 4			
	KCF 50 5			
	Rata rata			
3	K 100 1			
	K 100 2			
	K 100 3			
	K 100 4			
	K 100 5			
	Rata rata			

Tabel 32. Data Pengujian Keausan Spesimen Kaolin, dan *fly ash*

No	Kode Spesimen	Komposisi Spesimen		
		d (mm)	b (mm)	c (mm)
4	KF 50 1			
	KF 50 2			
	KF 50 3			
	KF 50 4			
	KF 50 5			
	Rata rata			
5	F 100 1			
	F 100 2			
	F 100 3			

	F 100 4			
	F 100 5			
	Rata rata			

3.5.5. Pengamatan SEM (Scanning electron microscopy) Alat Uji Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro menggunakan sistem perangkat menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDX (*Energy Dispersive X-ray*) untuk alat pengujiannya dapat dilihat pada gambar 31 dan spesifikasi alat uji pada tabel 19 yaitu sebagai berikut :



Gambar 41. Alat Uji Struktur Mikro SEM

Tabel 33. Spesifikasi Alat Uji Struktur Mikro

<i>Type Alat</i>	(SEM) EVO® MA 10
Pembesaran Lensa	10-3x10⁶ x Pembesaran
<i>Depth of field</i>	4-0.4 mm
Resolusi	1-10 nm

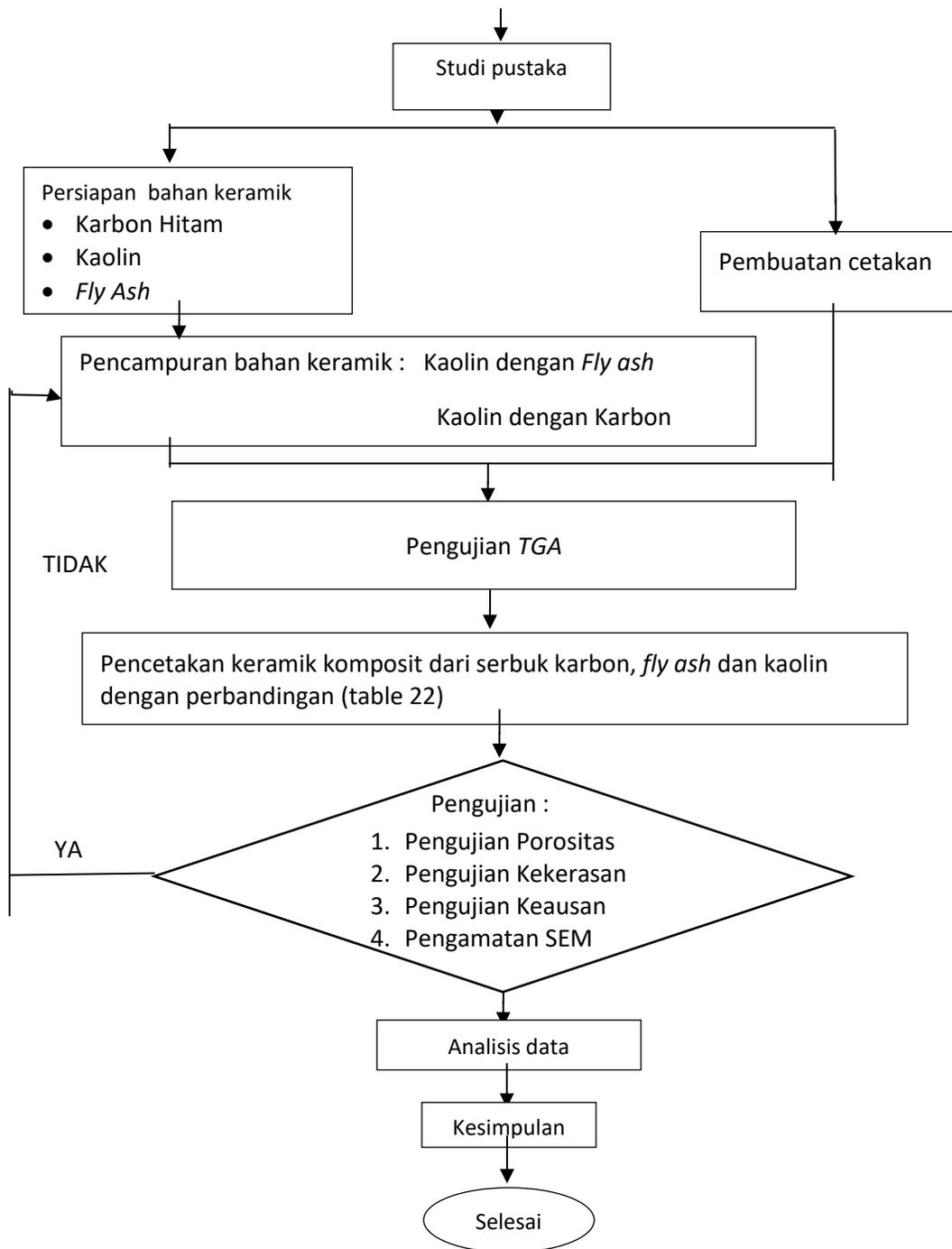
Detektor	EDX (<i>Energy Dispersive X-ray</i>)
Mikroanalisis	Kualitatif dan Semi Kuantitatif
Resolusi	1.9 nm, 2 nm, 3nm @30 kV SE HD, LaB₆,
	3 nm, 3.4 nm @ 30 kV SE VP HD, W
	10 nm, 15 nm @ 30 Kv 1 nA HD, LaB₆
	5 nm, 8 nm, 20 nm @1kV SE HD, LaB₆ W
	8 nm, 15 nm, 20 nm @1kV SE HD LaB₆
	6 nm @3 kV <i>Beam Deceleration</i>
<i>Acceleration Voltage</i>	0.2 to 30 kV
<i>Magnification</i>	<7-10⁶ x

SEM (Scanning Elektron Microscopy) digunakan untuk mengamati struktur mikro dan komposisi yang terkandung dalam spesimen. Hasil data berupa gambar pembesaran foto permukaan electron mikroskop area 1 dengan pembesaran 50x, 100x, 500x. Mikroskop optic yang digunakan untuk melihat struktur padat secara keseluruhan secara langsung menggunakan mikroskop jenis (SEM) EVO® MA 10 dengan pembesaran lensa 10-3x10⁶ x Pembesaran resolusi yang digunakan 1-10 nm sehingga dapat melihat struktur secara detail di suatu titik tertentu.

3.6. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian dapat dijelaskan pada gambar 33 yaitu sebagai berikut :





Gambar 42. Diagram alir penelitian

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian “Pengaruh Penguat *fly ash* dan Karbon Hitam terhadap sifat Keramik Kaolin Untuk Material Pelapis Pipa Logam Penyalur Limbah *fly ash*” yaitu sebagai berikut :

1. Hasil dari pengujian TGA untuk sampel yang memiliki weight loss terendah adalah KF 50, KC 90, KCF 50, K 100 dan F 100.
2. Hasil Pengujian densitas-porositas menunjukkan bahwa spesimen KC 90 200 mesh memiliki nilai densitas dan porositas tertinggi dibandingkan sampel dengan densitas 22,28 gram/cm³ dan porositas sebesar 1,5 %
3. Hasil uji kekerasan *Digital micro vickers* menunjukkan nilai kekerasan KC 90, ukuran 200 mesh memiliki kekerasan terbesar sebesar 6656 VHN, KF 50 ukuran 200 mesh sebesar 6360 VHN dan KCF 50 ukuran 200 mesh sebesar 5344 VHN sehingga semakin banyak nilai karbon black dan fly ash nilai kekerasan semakin meningkat akan tetapi memiliki porositas tinggi.

4. Hasil pengujian struktur mikro, SEM dengan sampel KF 50, KC 90 di bandingkan dengan spesimen KF 50 setelah diuji kekerasan dan KC 90 setelah diuji kekerasan, menunjukkan bahwa :
 - a. Masih terdapat rongga di setiap sampel tersebut sehingga porositas dan densitas menjadi tinggi kemungkinan karena penekanan saat kompaksi kurang,
 - b. Serbuk Fa pada spesimen KF 50 sebelum uji bentuknya menyebar dan berwarna bulat sedangkan untuk sampel KF 50 setelah uji kekerasan bentuk nya berubah menjadi berlubang karena ada bekas butiran tertarik keluar..
 - c. Serbuk CB pada spesimen KC 90 sebelum uji bentuknya menyebar dan berwarna bulat sedangkan untuk sampel KC 90 setelah uji kekerasan bentuk nya berubah menjadi berlubang karena ada bekas butiran tertarik keluar.

5.2.Saran

Adapun saran dari penelitian “Pengaruh Penguat *fly ash* dan Karbon Hitam terhadap sifat Keramik Kaolin Untuk Material Pelapis Pipa Logam Penyalur Limbah *fly ash*” yaitu sebagai berikut :

1. Alat Kompaksi yang digunakan sebaiknya lebih dari 20 Ton, untuk mengurangi porositas mikro pada spesimen.

2. Serbuk *fly ash*, Karbon Hitam dan Kaolin yang digunakan sebaiknya menggunakan ukuran serbuk yang konstan dan merata yaitu sebesar kurang dari 250 mesh agar pencampuran serbuk Kaolin, karbon hitam dan *fly ash* dapat merata
3. Perbandingan fraksi massa tiap sampel sebaiknya menggunakan perbandingan 1:1 agar bisa mendapatkan porositas yang lebih kecil dan densitas lebih besar
4. Sebaiknya dilakukan pengujian menggunakan lebih banyak variasi sampel untuk membuktikan adanya porositas di dalam Spesimen Keramik Pelapis Pipa.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM D 790 ” Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”

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

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

B. Ramgopal Reddy. Fabrication and characterization of Carbide and *fly ash* Reinforced Alumunium Metal Matrik *Composites*. Jurnal Teknologi vol 2

Callister, W. D., 2007, *Material Science End Engineering An Introduction* 7ed, Departemen Of Metallurgical Engineering The University Of Utah, John Willey And Sons,Inc.

Darmansyah, 2010, *Evaluasi Sifat Fisik Dan Mekanik Material Komposit Serat/Resin Berbahan Dasar Serat Nata De Coco Dengan Penambahan Nanofiller*, Depok, UI.

Damayanti, Retno, 2006, *Penelitian Abu Batu bara sebagai Pembenh Tanah : Pengaruh Waktu Inkubasi terhadap Parameter Kualitas Tanah (Derajat*

Keasaman Tanah (pH-H₂O), Mn, Fe, P - Total dan P - Tersedia), Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung.

- Diharjo, K., Dan Triyono, T., 2000, Buku Pegangan Kulian Material Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Diharjo, K. 2006. *Kajian sifat fisis-mekanis dan akustik komposit sandwich serat kenaf- polyester dengan core kayu sengon laut*, Disertasi Program Doktor, Ilmu-ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Feldman Dorel, Hartomo, A., J., 1995, Bahan Polimer Konstruksi Bangunan, Pt. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Femiana Gapsari dan Putu Hadi Setyarini., 2010, Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Resin Berpenguat Serbuk Kayu, Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Gibson, 1994, *Principle Of Composite Material Mechanics*, New York; Mc Graw Hill, Inc.
- Gautama, Nia 2011, keramik untuk hobi dan karir, Jakarta. PT Gramedia Pustaka Utami.
- Hendrianto Agus. 2017 Pengaruh Temperatur Sinter dan Lama Pemanasan dengan menggunakan teknik aquades pada bahan batu kapur.
- Husin, Andriati Amir, 2005, Pemanfaatan Limbah Untuk Bahan Bangunan, Jakarta.
- Ichsanudin, M., 2006, *Pemanfaatan dan Pengujian Mekanik Limbah Batubara Sebagai Material Komposit*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Jauhari, Moh Ilfan, 2015, Prediksi Sifat Mekanik Keramik Al_2O_3 Berdasarkan Suhu Sintering dan Persentase Aditive Menggunakan Jaringan Tiruan. Tugas Akhir ITS
- Jones, M., R., 1975, *Mechanics Of Composite Material*, Mc Graw Hill. Kogakusha, Ltd.
- Kammler, H. K, Beaucage, G., Kohls, D. J., Agashe ,N Llavsky, J., 2005, *In Situ Studies Of Nano Particle Growth Dynamics In Premixed Flames*.
- Karima, Hadrian. 2009. *Pengaruh Besar Tekanan Compacting Pada Silinder Serbuk Duralumin Powder Metallurgy Terhadap Kekerasan dan Porositas*. Universitas Brawijaya: Malang.
- Kiswiranti, Desi. 2009. *Pemanfaatan Serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Alternatif Serat Penguat Bahan Friksi Nonasbes pada Pembuatan Kampas Rem Sepeda Motor*. Skripsi Teknik Fisika Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Maulana. 2012. *Pengujian Keausan Komposit Aluminium Diperkuat Karbon Nanotube dan Aluminium Diperkuat Silikon Karbida*. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Ngurah, Ardha, dkk. 2008. *Pemanfaatan Abu Terbang PLTU-Suralaya untuk Castable Refractory*. www.tekmira.esdm.go.id.
- Nurizal dan Anronio Eko S, 2013 *Komputasi fly ash dan Suhu Sinter Terhadap Kekersan manufaktur Keramik Lanta*. Jurnal Intitut Teknologi Padang.
- Okeye dkk. *Optimalisasi Pada Komposisi Silica Fume, Kaoline, dan fly ash Untuk Menambah Kekuatan Bahan*, Jurnal Teknologi vol 2

- 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. Bandarlampung
- Pratama. 2011. *Analisa sifat material komposit bahan kanvas 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.
- Schwartz, M. M., 1984, *Composite Material Handbook*, Mc Graw Hill, New York.
- 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.
- Suthee Wattanasiriwech dkk, 2017. Variasi Coordierte Mullite 0, 20, 40, 60% dengan curring. *Jurnal Teknologi* vol 2
- Van Vlack, 2005, *Ilmu Dan Teknologi Bahan*, Erlangga, 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.

Yun Fu, Shao., 2008, *Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites*, Chinese Academy of Sciences, china.

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