

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berlimpahnya material abu vulkanik gunung berapi sebagai hasil dari letusan gunung berapi merupakan suatu hal yang menarik untuk diteliti lebih lanjut, khususnya tentang kelayakan penggunaan abu vulkanik tersebut sebagai bahan dasar untuk membuat material refraktori. Sebagian besar abu vulkanik tersebut belum dimanfaatkan sama sekali. Hal tersebutlah yang membedakan dengan penelitian lain mengenai material refraktori yang pada umumnya menggunakan pasir silika, abu batu bara, limbah pasir cetak sebagai bahan dasarnya.

Material refraktori dibuat dari bahan dasar yang tersusun atas silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Keberadaan abu vulkanik hasil dari letusan gunung berapi merupakan hal yang cukup potensial sebagai bahan refraktori. Abu vulkanik tersebut mengandung sekitar 53% silika dan 18% alumina dalam kondisi yang bersifat reaktif. Fakta-fakta ini telah menjanjikan adanya kemungkinan pemanfaatan abu vulkanik sebagai bahan dasar pembuatan material refraktori.

Penelitian-penelitian tentang material refraktori berbasis abu terbang (*fly ash*) banyak yang telah dipublikasikan. Sedangkan publikasi tentang refraktori berbahan dasar lain masih relatif sedikit. Hal tersebut yang mendasari penelitian ini tentang kelayakan abu vulkanik sebagai bahan dalam pembuatan material refraktori yang akan dilakukan, dimana abu vulkanik yang akan digunakan berasal dari letusan gunung berapi yaitu di Dukuh Geneng Desa Banyuanyar Kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali.

Refraktori bekerja pada temperatur yang relatif tinggi. Oleh karena itu diperlukan suatu material yang sanggup bertahan baik dalam operasi dengan temperatur tinggi. Refraktori adalah bahan jenis keramik yang mampu melawan temperatur tinggi, mampu menahan minimal tidak leleh pada temperatur yang relatif tinggi dan mampu tidak terbakar menjadi abu atau gas terhadap pengaruh

perubahan peningkatan temperatur. Pada industri pengecoran logam refraktori digunakan sebagai pelapis pada alat-alat peleburan logam seperti oven peleburan, tungku bakar, ladle, dan alat-alat bantu penuangan. Sifat kimia dan sifat fisis dari refraktori akan tergantung sejauh mana komposisi bahan kimia tersebut, maksudnya komposisi unsur-unsur yang terkandung didalamnya. Bisa juga tidak tergantung dari komposisi kimianya, akan tetapi ditinjau dari pembentukan fasa yang akan menentukan.

Dengan kata lain refraktori merupakan material yang dapat mempertahankan sifat-sifatnya dalam kondisi yang sangat berat karena temperatur tinggi dan kontak dengan bahan-bahan yang korosif. Berdasarkan komposisi kimia penyusunnya, material refraktori dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu refraktori asam seperti silika, refraktori netral seperti alumina dan refraktori basa seperti magnesit, serta refraktori khusus seperti karbon, silikon karbida, dan lainnya. Masing-masing jenis refraktori mempunyai keunggulan yang bisa diaplikasikan dalam industri pengecoran logam. Dengan pertimbangan-pertimbangan di atas, maka abu vulkanik telah memenuhi syarat untuk dijadikan bahan dasar refraktori.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.2.1 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah:

1. Menganalisa dan mengetahui komposisi atau kandungan mineral dari abu vulkanik, dan tanah liat sebagai bahan paduan (sifat fisik).
2. Menganalisa sifat abrasif hasil paduan dan *refractory SK34* (sifat abrasi).
3. Menganalisa kuat tekan dingin hasil paduan dan *refractory SK34* (sifat mekanis).

1.2.2 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh adalah:

1. Memberi nilai guna lebih terhadap abu vulkanik dan tanah liat sebagai bahan alternatif pembuatan refraktori.

2. Dapat mengetahui pengaruh paduan terhadap sifat abrasif dan kuat tekan dingin sebagai refraktori ditinjau dari ukuran serbuk (mesh) dan komposisi.

1.3. Perumusan Masalah

Untuk pembuatan refraktori dengan paduan abu vulkanik dan tanah liat belum diketahui:

1. Kemampuan refraktori (bata tahan api) tersebut terhadap kerusakan abrasi/pengikisan pada bahan refraktori disebabkan oleh gesekan atau dampak.
2. Beban maksimum dan kekuatan tekan yang mampu diterima.

1.4. Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penyusunan Tugas Sarjana ini adalah :

1. Bahan yang digunakan adalah abu vulkanik dan tanah liat. Ukuran serbuk/butiran bahan adalah *mesh* 150 dengan pertimbangan agar *mesh* mudah didapat, tidak terlalu lama prosesnya, butiran tidak terlalu lembut sehingga berbahaya bagi pernafasan operator.
2. Metode pencampuran dilakukan secara konvensional dengan variasi komposisi abu vulkanik terhadap tanah liat (%) adalah 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 dengan molase (gula tetes) dan air sebagai pengikatnya.
3. Pembentukan spesimen uji menggunakan metode cetak tekan dengan pembebanan yang sama, bentuk disesuaikan dengan alat cetak dan alat uji (kubus 5x5x5 cm dan kubus 5x5x5 cm).
4. Pengujian spesimen hanya terbatas pada analisa pengaruh ukuran serbuk (mesh) dan variasi komposisi paduan terhadap sifat abrasif dan kuat tekan dingin sebagai bahan refraktori.
5. Dengan proses pembakaran suhu 900°C, 1000°C, 1100°C.

1.5. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan ini adalah :

1. Studi Pustaka

Metode pengumpulan data dilakukan dengan mempelajari referensi dan literatur yang berkaitan dengan penyusunan tugas sarjana ini.

2. Asistensi dan Konsultasi

Langkah ini dilakukan dengan cara konsultasi mengenai materi Tugas Sarjana dengan dosen pembimbing maupun dengan pembimbing observasi lapangan di perusahaan dan industri terkait.

3. Pengujian Awal

Melakukan pengujian XRF untuk menganalisa dan mengetahui komposisi mineral dan karakteristik dari masing-masing bahan yang akan dipadu.

4. Penyiapan Spesimen Uji

Pada tahapan ini kegiatan yang dilakukan antara lain :

- Persiapan bahan dan alat.
- Proses pencampuran dengan cara konvensional.
- Proses pembentukan paduan dengan cetak tekan.
- Proses pengeringan secara konvensional.
- Proses perlakuan panas.
- Proses pendinginan
- Mempersiapkan spesimen uji sesuai dengan yang dibutuhkan.

5. Pengujian Lanjut

Melakukan uji abrasif dengan *sand blasting methods* untuk mendapatkan nilai ketahanan abrasi, uji tekan untuk mendapatkan nilai kuat tekan, dan uji SEM untuk mengetahui struktur mikro paduan.

6. Pengolahan dan Analisa Data

Data yang diperoleh diolah dengan menggunakan metode statistik yang sesuai dan dipresentasikan dalam tabel dan grafik.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dan memahami penulisan Skripsi ini, perlu dibuat sistematika penulisan yang mencakup :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, tujuan dan manfaat penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Berisi tentang teori dasar yang berhubungan dengan abu vulkanik dan tanah liat, termasuk aplikasi dan teori pengujian.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjabarkan langkah-langkah penelitian dari awal sampai akhir yang termasuk di dalamnya tentang spesifikasi bahan, alat uji dan alat ukur, serta parameter-parameter pengujian yang digunakan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang analisa data yang diperoleh dari pengujian dan pembahasan untuk menarik kesimpulan.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dari tugas sarjana ini yang dirangkum dari hasil selama pengujian dan analisa data. Bab ini juga berisi saran-saran yang dapat mendukung pengembangan dalam penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Abu Vulkanik

Pada bulan November 2010 Gunung Merapi di Yogyakarta terus-menerus memuntahkan abu vulkanik. Dalam setiap semburan tersebut mengandung senyawa kimia yang mengancam kesehatan manusia. Senyawa tersebut di antaranya adalah Silika dioksida (SiO_2) 53,80%, aluminium oksida (Al_2O_3) 18,26%, ferro oksida (Fe_2O_3) 10,62%, kalsium oksida (CaO) 12,31% dan sisanya adalah senyawa-senyawa lain. ^[1]

Gunung Merapi merupakan gunung berapi di propinsi Jawa Tengah dan Yogyakarta yang masih sangat aktif hingga saat ini, berada pada koordinat $7^{\circ}32'30''$ LS $110^{\circ}26'30''$ BT. Letaknya cukup dekat dengan Kota Yogyakarta dan masih terdapat desa-desa di lerengnya sampai ketinggian 1700 m. Sejak tahun 1548, gunung ini sudah meletus sebanyak 68 kali. Abu vulkanik atau pasir vulkanik adalah bahan material vulkanik jatuhnya yang disebarkan ke udara saat terjadi suatu letusan. Abu maupun pasir vulkanik terdiri dari batuan berukuran besar sampai berukuran halus, yang berukuran besar biasanya jatuh disekitar kawah sampai radius 5 - 7 km dari kawah, sedangkan yang berukuran halus dapat jatuh pada jarak mencapai ratusan kilometer bahkan ribuan kilometer. ^[1]

2.2 Tanah liat / Lempung (Clay)

Lempung dari berbagai kelompok material terbentuk dari proses pelapukan batuan metamorphosis atau batuan beku. Material ini umumnya sangat halus dengan ukuran partikel kurang dari 2 mikron. Material yang menarik bagi pembuat (manufaktur) refraktori adalah mempunyai kandungan alumino-silikat yang tinggi. Kelompok refraktori ini biasanya mempunyai ketahanan yang bagus terhadap slag asam (acid slag). ^[4]

Secara umum karakteristik dari kelompok ini yaitu sebagai berikut ^[4]:

- Bagus sebagai material insulator.

- Beberapa jenis mempunyai perilaku ekspansi yang kompleks, tetapi kebanyakan hanya mempunyai ekspansi panas yang kecil.
- Kekuatan yang sedang pada temperatur tinggi, mengandung fasa gelas yang bertitik lebur rendah.
- Ketahanan yang bagus terhadap slag asam (acid slag).
- Ketahanan yang bagus terhadap kejutan panas (thermal shock)
- Tidak mahal dan mudah tersedia.

Lempung adalah campuran dari beberapa mineral lempung, yang biasanya juga mengandung jumlah yang bervariasi dari mineral bukan lempung^[4].

Adapun beberapa jenis dari tanah liat/lempung adalah sebagai berikut^[4]:

1. Lempung Cina (*China Clay*) atau Kaolin.
2. Lempung Bola (*Ball Clays*).
3. Lempung Api (*Fire Clay*).
4. Lempung Batu Api (*Flint Clays*).
5. Bata lempung (*Brick Clay*).

2.3 Refraktori

Refraktori didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi dibawah beberapa kondisi seperti tegangan mekanik (*mechanical stress*) dan serangan kimia (*chemical attack*) dari gas-gas panas, cairan atau leburan dan semi leburan dari gelas, logam atau *slag*^[6].

Persyaratan-persyaratan umum bahan refraktori adalah:

1. Tahan terhadap suhu tinggi
2. Tahan terhadap perubahan suhu yang mendadak
3. Tahan terhadap lelehan terak logam, kaca, gas panas, dll.
4. Tahan terhadap beban pada kondisi perbaikan
5. Tahan terhadap beban dan gaya abrasi
6. Menghemat panas
7. Memiliki koefisien ekspansi panas yang rendah

Tabel 2.1. Sifat-sifat refraktori (The Carbon Trust, 1993) .^[5]

Sifat	Massa Panas Tinggi (Refraktori dengan Densitas tinggi)	Massa Panas Rendah (Serat Keramik)
Konduktivitas panas (W/m K)	1,2	0,3
Panas jenis (J/kg K)	1000	1000
Densitas (kg/m ³)	2300	130

Jenis refraktori yang digunakan tergantung pada area penggunaannya seperti boiler, tungku, kiln, oven dll., suhu dan tekanan yang dibutuhkan.^[5]



Gambar 2.1. a. *Lining* refraktori tungku busur/ arc (BEE, 2005) .^[5] b. Dinding bagian dalam refraktori dengan blok *burner* (BEE, 2005) .^[5]

Beberapa sifat-sifat penting refraktori adalah^[5]:

1. Titik leleh

Hampir kebanyakan bahan refraktori terdiri dari partikel yang terikat bersama dan memiliki suhu leleh tinggi yang pada suhu tinggi akan meleleh dan membentuk terak.

2. Ukuran

Bentuk dan ukuran refraktori merupakan bagian dari rancangan tungku, karena hal ini mempengaruhi stabilitas struktur tungku.

3. *Bulk density*

Merupakan jumlah bahan refraktori dalam suatu volum (kg/m³). Kenaikan dalam *bulk density* refraktori akan menaikkan stabilitas volum, kapasitas panas dan tahanannya terhadap penetrasi terak.

4. Porositas

Merupakan volume pori-pori yang terbuka, dimana cairan dapat menembus, sebagai persentase volum total refraktori. Sifat ini penting ketika refraktori

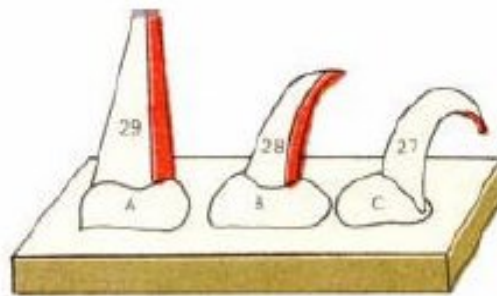
melakukan kontak dengan terak dan isian yang leleh. Porositas yang nampak rendah mencegah bahan leleh menembus refraktori.

5. *Cold crushing strength*

Merupakan resistansi refraktori terhadap kehancuran yang sering terjadi selama pengiriman. Digunakan sebagai salah satu indikator resistansi terhadap abrasi.

6. Kerucut pyrometric dan *Pyrometric Cones Equivalent (PCE)*

Digunakan di industri keramik untuk menguji kerefraktoritan batu bata (refraktori) dan terdiri dari campuran oksida yang dikenal meleleh pada kisaran suhu yang sempit. Kerucut dengan komposisi berbagai oksida diletakkan berurutan sesuai dengan suhu lelehnya sepanjang bata refraktori dalam tungku. Tungku dibakar dan suhunya akan naik, satu kerucut akan melengkung bersama bata refraktori. (Gambar 2.2)



Gambar 2.2. Kerucut *pyrometric* (Biro Efisiensi Energi, 2004)

7. *Creep* pada suhu tinggi

Creep merupakan sifat yang tergantung pada waktu dan suhu, yang menentukan rusaknya bentuk pada bahan refraktori dengan penekanan.

8. Stabilitas volum, pengembangan, dan penyusutan pada suhu tinggi

Kontraksi atau ekspansi refraktori dapat berlangsung selama umur pakai.

9. Ekspansi panas dapat balik

Merupakan perubahan fase yang terjadi selama pemanasan dan pendinginan (mengembang jika dipanaskan, menyusut jika didinginkan).

10. Konduktivitas panas

Tergantung pada komposisi kimia, mineral, kandungan silika pada refraktori, dan suhu penggunaan (biasanya berubah dengan naiknya suhu).

2.3.1 Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Kekuatan Refraktori

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengerjaan refraktori yang berpengaruh pada kekuatan refraktori : [8]

a) **Komposisi kimia atau mineral bahan**

Pada keadaan bahan mentah, komposisi kimia tidak sama bila dibanding saat benda dibakar, karena pada kondisi temperatur tinggi terjadi reaksi kimia.

b) **Sifat fisis bahan**

Sifat fisis meliputi ukuran dan bentuk, tekstur permukaan, porositas, koefisien ekspansi termal (memuai dan menyusut), dan daya adhesif ikatannya.

c) **Cara penyiapan pembuatan bahan**

Cara penyiapan dimulai dari penentuan, distribusi, dan ukuran partikel, jumlah air yang ditambahkan, perbandingan bahan tambahkan seperti zat pengikat, proses pencampuran, dan lamanya waktu pencampuran.

d) **Cara pembuatan bahan**

Benda yang dicetak dengan menggunakan mesin umumnya akan lebih kuat dibandingkan dengan pencetakan manual. Benda yang dibuat dengan proses press kekuatannya bergantung pada kuat tekan dan arah penekanannya.

e) **Kondisi pengeringan**

Pengeringan yang baik dilakukan secara berlahan-lahan, dimaksudkan agar air dapat keluar dengan kecepatan yang merata pada seluruh benda tanpa menimbulkan retakan.

f) **Kondisi pemanasan atau pembakaran**

Benda yang dibakar umumnya akan lebih kuat dibandingkan benda yang dikeringkan saja. Hal ini tergantung pada sifat dan jumlah bahan pengikat yang dihasilkan selama pemanasan.

g) **Temperatur pemakaian**

h) **Kondisi lainnya seperti iklim, perubahan temperatur yang mendadak, dan pemanasan yang lama**

2.3.2 Komposisi Penyusun Refraktori

Karakteristik umum yang harus dimiliki oleh bahan refraktori adalah aman dan efisien di dalam penggunaannya. Adapun beberapa fungsi utama dari bahan refraktori antara lain: isolasi panas, sebagai wadah tempat menampung logam cair ataupun *slag*, dan digunakan sebagai dinding antara pelat logam dengan logam cair. [2] Sedangkan untuk mendapatkan bahan refraktori yang aman dan efisien di dalam penggunaannya, bahan refraktori disesuaikan dengan komposisinya.

Dalam proses fabrikasi, adanya penyusutan selama proses *sintering* dapat menentukan tingkat porositas yang dihasilkan bahan. Porositas yang terbentuk pada dasarnya merupakan daerah terkonsentrasinya tegangan dalam suatu bahan refraktori. Hal ini menurunkan tingkat kekuatan tekan dari bahan refraktori. [2]

2.3.3 Kekuatan Fisis Refraktori

Dalam masing-masing grup refraktori mempunyai perbedaan dalam tingkat ketahanan sehingga bergantung pada kualitas dari material yang dipergunakan serta teknologi yang digunakan. Sebagai contoh dapat dikemukakan bahwa refraktori monolitik, dapat diperbesar ketahanan terhadap *spalling* dan erosinya dengan cara meningkatkan densitasnya. Cara yang paling baik untuk memperbaiki mutu refraktori dalam pemakaian dengan cara pemilihan bahan baku yang tepat, kualitas yang seragam, serta menggunakan teknologi dan sistem yang tepat dalam proses pembuatan.

Dalam menilai baik buruknya kualitas dari refraktori kita dapat memperhatikan data hasil laboratorium, antara lain *density*, *apparent porosity*, *cold crushing strength*. Pada *High Duty Silica* nilai densitas dari data laboratorium didapat sebesar $2,3 \text{ g/cm}^3$ sedangkan nilai porositas didapat sebesar 20%. Nilai densitas dan porositas inilah yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan dari refraktori terhadap abrasi dari *slag* hasil peleburan logam. Dengan semakin tingginya nilai densitas dan semakin rendahnya nilai porositas maka kekuatan refraktori terhadap ketahanan abrasi akan semakin tinggi. Berdasarkan titik leleh pada *High Duty Silica* adalah 1730°C sedangkan kita tahu titik leleh pada besi cor

adalah 1300°C maka *High Duty Silica* dapat digunakan sebagai bahan refraktori peleburan besi cor.[7]

2.3.4 Ikatan Kimia Refraktori

Atom pembentuk refraktori memiliki ikatan yang kuat, berupa ikatan ionik, kovalen, atau campuran keduanya. Akibatnya material refraktori memiliki titik leleh yang sangat tinggi, sehingga banyak digunakan pada sistem pengguna energi-intensif, seperti tungku dan turbin gas. Sebagai contoh alumina (Al_2O_3) yang memiliki titik leleh 2050°C ataupun Magnesia (MgO) dengan titik leleh 2800 °C merupakan material tahan api yang penting untuk tungku. Karena refraktori memiliki ikatan antar atom yang kuat, maka konduktivitas listrik refraktori relatif rendah. [8]

Refraktori umumnya berada dalam bentuk oksida sehingga memiliki kestabilan yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa material refraktori memiliki reaktifitas kimia yang rendah bila berada dalam lingkungan oksida panas. Ketahanan panas atau ketahanan terhadap degradasi dan kegagalan selama pemakaian temperatur tinggi terjadi karena refraktori memiliki ikatan antar atom yang kuat. Namun demikian, temperatur operasi yang berfluktuasi dan perubahan temperatur yang sangat drastis yang terjadi pada refraktori selama kondisi operasi dapat menimbulkan ketidakseimbangan tegangan. Karena refraktori tidak bersifat ulet, sehingga tegangan tidak dapat dihilangkan dengan deformasi plastis. Hal ini mengakibatkan timbulnya retak pada bidang tegak lurus gradien temperatur, atau menyebabkan sebagian refraktori mengelupas dari permukaan paling panas. Kondisi disintegrasi ini lebih dikenal dengan istilah *spalling*. *Spalling* dipengaruhi oleh koefisien muai termal dan konduktivitas dari bahan refraktori. [8]

2.3.5 Kerusakan refraktori

Kerusakan refraktori merupakan penurunan kualitas dari refraktori yang diakibatkan oleh proses peleburan dan pengaruh dari reaksi terhadap logam cair dan *slag*. Berikut adalah beberapa kerusakan yang terjadi pada refraktori: [8]

a) Retakan (*crack*)

Pemanasan atau pembakaran awal (*preheating*) pada bahan refraktori dapat mengakibatkan terjadinya retakan pada bahan refraktori. Pemeriksaan awal terhadap instalasi merupakan suatu hal yang penting dilakukan. Sebelum dilakukan pemanasan atau pembakaran bahan refraktori terlihat sempurna, tetapi sebenarnya bahan refraktori mengandung bahan-bahan yang dapat rusak bila mengalami pemanasan. Retakan-retakan dapat diakibatkan tekanan yang terjadi di dalam bahan akibat adanya ekspansi pemanasan dan pengerutan bahan refraktori selama pemanasan. Bentuk retakan yang terjadi dapat berupa retakan radikal yang diikuti oleh retakan miring pada bagian bahan refraktori. Bila hal ini terjadi, maka bagian refraktori cenderung untuk lepas. Kerusakan seperti ini dapat diperbaiki dengan membersihkan semua retakan, melepas lapisannya, dan menambalnya dengan suatu campuran refraktori plastis/*mortar*. Retakan akibat pemanasan dapat juga diakibatkan penambahan air yang terlalu banyak saat proses pencampuran bahan refraktori.



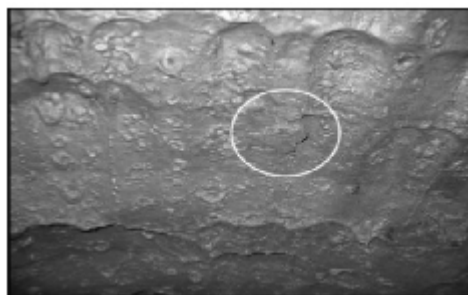
Gambar 2.3 Retakan pada Refraktori [8]

b) *Slagging* dan *spalling*

Slagging dan *spalling* merupakan penyebab utama kerusakan pada bahan refraktori. *Slag*/terak terbentuk apabila abu ataupun bahan-bahan pengotor lainnya yang bereaksi dengan bahan refraktori. Bilamana *slag* yang terbentuk pada refraktori tidak diam pada tempatnya melainkan terlepas dari permukaan bahan refraktori sehingga akan memperlihatkan suatu bagian permukaan yang baru untuk serangan *slag* lebih lanjut. [8]

Pengelupasan refraktori yang terjadi utamanya karena lapisan refraktori yang telah ditembus *slag* mempunyai suatu perbedaan pemuaian (ekspansi)

dengan refraktori aslinya. Hal ini menyebabkan terbentuknya suatu bidang patahan dan retak yang berlapis-lapis saat *slag* terlepas. Terlepasnya bagian dari bahan refraktori yang diakibatkan retakan serta diikuti pecahannya bahan refraktori atau suatu pelapukan pada bagian refraktori dinamakan *spalling*. *Spalling* dapat juga terjadi akibat adanya perubahan temperatur yang mendadak. Bila *slagging* dan *spalling* telah merusakkan bagian dari refraktori, maka pencegahan yang dapat dilakukan adalah dengan membongkar bagian refraktori yang rusak dan menggantinya dengan bahan-bahan refraktori yang baru. ^[8]



Gambar 2.4 Penutupan Refraktori oleh *Slag* ^[8]

c) Pengkerutan (*shrinkage*)

Penyebab yang lain dari kerusakan pada tungku adalah terjadinya pengkerutan pada bahan refraktori. Pengkerutan yang terjadi pada bahan refraktori menyebabkan perubahan luas/ukuran permukaan dari bahan refraktori tersebut. Akibat dari pengkerutan ini akan terbentuk suatu ruangan terbuka di sekeliling bagian bahan refraktori, sehingga bagian permukaan yang ditutupi bahan refraktori menjadi renggang. Keadaan yang demikian membahayakan pada desain konstruksi tungku, sehingga harus dilakukan perbaikan secara keseluruhan. ^[8]

d) Abrasi/Pengikisan dan Korosi

Secara umum kerusakan abrasi/pengikisan pada bahan refraktori disebabkan oleh gesekan atau impact. Kenyataannya kerusakan pada bahan refraktori diakibatkan abrasi dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti partikel debu dan gas didalam tungku pada temperatur tinggi. Kerusakan yang disebabkan partikel debu dan gas ini disebut abrasi/erosi. Tipe kerusakan abrasi terjadi pada permukaan bahan refraktori secara merata. Korosi yang dialami bahan refraktori dikatakan sebagai mekanisme larutnya sebagian bahan refraktori saat

kontak dengan logam cair atau *slag*, reaksi dengan uap, cairan, dan fasa padat, atau penetrasi fasa uap atau cair ke dalam pori dan membentuk daerah yang berbeda dengan bahan dasar refraktori.^[8]

2.4 Screening

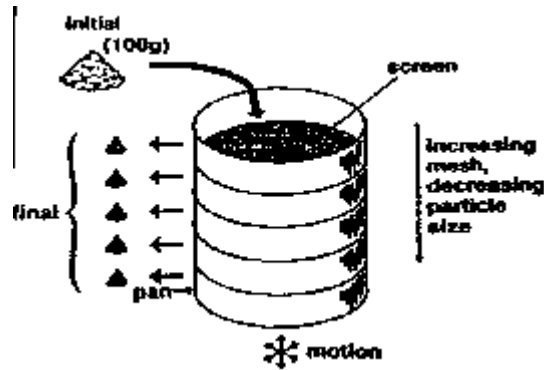
Screening merupakan suatu teknik yang paling umum digunakan untuk analisa ukuran partikel dengan cepat. Proses dasar dari *screening* adalah lolosnya material atau pemakanan dari sebuah *screen* dengan beberapa bukaan dari sebuah ukuran. Partikel yang lolos dari *screen* adalah partikel yang lebih kecil, dan partikel yang tertinggal adalah partikel yang lebih besar.^[10]

Kisi-kisi segi empat dari kawat dengan ukuran atau jarak tertentu disebut *mesh*. Ukuran *mesh* ditunjukkan dari jumlah kawat per unit panjang. Ukuran bukaan merupakan kebalikan dari ukuran *mesh*; ukuran *mesh* menandakan ukuran bukaan yang kecil, atau sebaliknya. Hal yang paling penting dalam penentuan ukuran *mesh* terletak pada jumlah kawat tiap inchi. Sebagai contoh, *mesh* 200 menyatakan ada 200 kawat per inchi atau 127 μm jarak antar pusat kawat. Ukuran *mesh* ini diameter kawatnya adalah 52 μm , dengan demikian ukuran bukaannya adalah 75 μm .^[10]

Tabel 2.2. Standart ukuran *sieve*^[10]

Ukuran Mesh	Bukaan (μm)	Ukuran Mesh	Bukaan (μm)
18	1000	120	125
20	850	140	106
25	710	150	100
30	600	170	90
35	500	200	75
40	425	230	63
45	355	270	53
50	300	325	45
60	250	400	38
70	212	450	32
80	180	500	25
100	150	600	20

Analisa *screening* ini tersusun dengan bukaan yang semakin kecil dari atas ke bawah.



Gambar 2.5 Analisa dengan *screen* bertingkat.^[4]

Ukuran bukaan paling kecil berada di paling bawah. Serbuk dimasukkan pada bagian rak paling atas dan kemudian digetarkan selama 15 menit. Untuk analisa partikel, sebagai contoh ukuran dari 100 gram biasanya cukup dengan menggunakan diameter screen 20 cm. Setelah digetarkan serbuk yang masuk kedalam masing-masing interval ukuran ditimbang dan dihitung prosentasenya tiap interval ukuran.^[4]

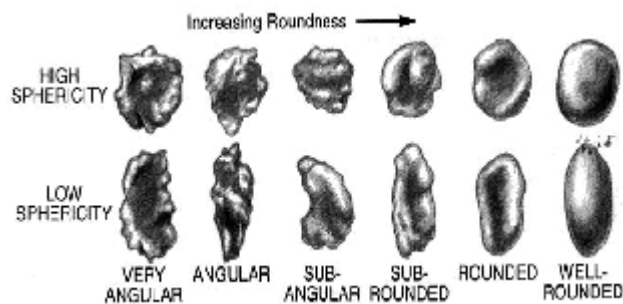
Partikel serbuk yang melewati suatu ukuran mesh ditandai dengan tanda (-) dan yang tertahan di suatu tingkat *mesh* diberi tanda (+). Sebagai contoh, -100/+200 *mesh* artinya serbuk tersebut melewati ukuran 100 *mesh* tetapi tidak bisa melewati ukuran 200 *mesh*.

2.5 Bentuk Butir dan Ukuran Serbuk

Tingkat kebundaran butir dipengaruhi oleh komposisi butir dan ukuran butir. Butiran dari mineral yang resisten seperti kwarsa dan zircon akan berbentuk kurang bundar dibandingkan dengan butiran dari mineral kurang resisten. Butiran yang berukuran lebih besar dari *pebble* akan lebih mudah membundar daripada yang berukuran pasir.^[9]

Dalam mendiskripsikan bentuk partikel, dua sifat harus dibedakan yaitu *Sphericity* dan *Roundness*. *Sphericity* adalah pendekatan setiap individu partikel ke bentuk bola, sepenuhnya tergantung pada bentuk asli partikel, sedangkan abrasi merupakan faktor minor. Istilah deskriptif paling bagus dipakai untuk partikel

pasir atau yang lebih kasar berdasarkan diameter maksimum, minimum dan intermediet. Ada empat bentuk dasar yang dipakai yaitu *equant*, *tabular*, *prolate*, dan *bladed*. *Roundness* adalah suatu ukuran adanya abrasi yang menyebabkan proses pembundaran pada sudut-sudut atau ujung-ujung *fragmen*. Istilah kualitas yang dipakai yaitu *angular*, *subangular*, *subrounded*, *rounded*, dan *well rounded* [9] Adapun berbagai macam nama dan bentuk butir dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini:



Gambar 2.6 Berbagai Jenis Bentuk Butiran [9]

Pembagian bentuk butir:

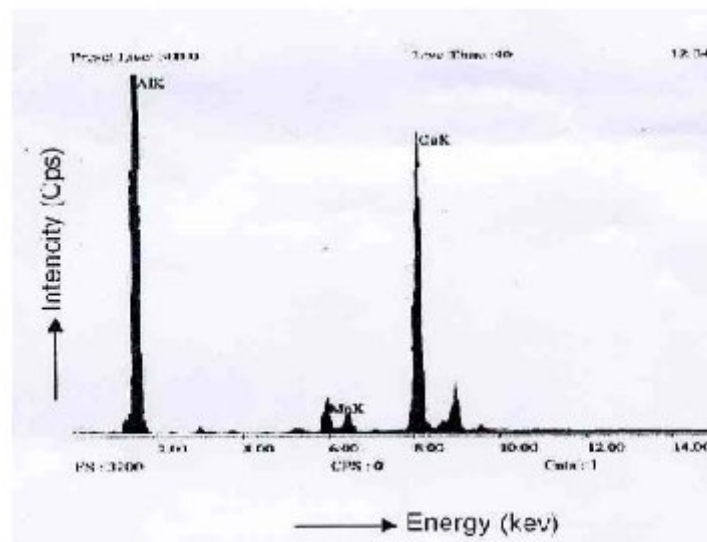
1. *Very angular* (sangat menyudut). Permukaan konkaf dengan ujungnya yang sangat tajam.
2. *Angular* (menyudut). Permukaan konkaf dengan ujungnya yang tajam.
3. *Sub angular* (menyudut tanggung). Permukaan pada umumnya datar dengan ujung-ujung tajam.
4. *Sub rounded* (membundar tanggung). Permukaan umumnya datar dengan ujung-ujung yang membundar.
5. *Rounded* (membundar). Pada umumnya permukaan-permukaan bundar, ujung-ujung dan tepi butiran bundar.
6. *Well rounded* (membundar baik). Semua permukaan konveks.

2.6 X-Ray Fluorescence (XRF)

Pada penelitian ini sebelum abu vulkanik digunakan untuk membuat material refraktori, maka abu vulkanik tersebut perlu dilakukan pengujian komposisi kimianya. Analisis unsur kimia terhadap sampel akan lebih teliti bila dilakukan dengan teknik XRF. Metode XRF secara luas digunakan untuk

menentukan komposisi unsur suatu material. Karena metode ini cepat dan tidak merusak sampel, metode ini dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar -x tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi.

Metode spektrometri merupakan metode analisis suatu bahan dengan peralatan tertentu yang hasil ujinya berupa spektrum (grafik) sumbu X-Y. Pengujian menggunakan alat XRF akan diperoleh hubungan 2 parameter yaitu sumbu X (horisontal) berupa energi unsur (keV) dan sumbu Y (vertikal) berupa intensitas cacahan perdetik (cps/ count per second) seperti ditunjukkan pada gambar berikut [3].



Gambar 2.7 Spektrum hubungan energi dengan intensitas [3]

Sinar -x yang dianalisis berupa sinar -x karakteristik yang dihasilkan dari tabung-x ray, bahan yang dianalisis dapat berupa bahan padat pejal dan serbuk. Unsur yang dapat dianalisis adalah unsur dengan nomor atom kecil yaitu mulai unsur carbon (C) sampai dengan unsur dengan nomor atom besar yaitu uranium (U). Pengujian dilakukan di Program Studi Ilmu Material Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Salemba.

2.7 Abrasi

Secara umum kerusakan abrasi/pengikisan pada bahan refraktori disebabkan oleh gesekan atau dampak. Kenyataannya kerusakan pada bahan refraktori diakibatkan abrasi dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti partikel debu dan gas didalam tungku pada temperatur tinggi. Kerusakan yang disebabkan partikel debu dan gas ini disebut abrasi/erosi. Tipe kerusakan abrasi terjadi pada permukaan bahan refraktori terjadi secara merata.^[11]

Perlu diketahui bahwa refraktori yang mengandung alumina tinggi tidak selalu memiliki kerugian abrasi terendah. Dalam aplikasi batu tahan api bagian permukaan depan refraktori ini penting untuk ditambahkan bahan yang dapat menahan keausan/abrasi konstan untuk jangka waktu yang lama tanpa pengurangan berat pada ketebalan lapisan. Hal itu penting untuk menilai ketahanan abrasi dari bahan yang akan digunakan untuk daerah tersebut, yaitu seberapa baik *refractory* dapat menahan gesekan atau beban kejutan mekanis.^[11]

Spesimen uji ditimbang sebelum dan setelah pengujian, hasil yang diperoleh dinyatakan sebagai rugi volume material atau dengan perhitungan indeks *abradability* (mampu terabrasi) berdasarkan kerugian massa, kerapatan *bulk* material, dan faktor koreksi aparatur. Rugi abrasi dari bahan sangat tergantung pada densitas dan porositas, sudut benturan, dan ukuran butir dan sifat media yang mengabrasi.^[11]

2.8 *Refractory Seger Kegel 34 (SK 34)*

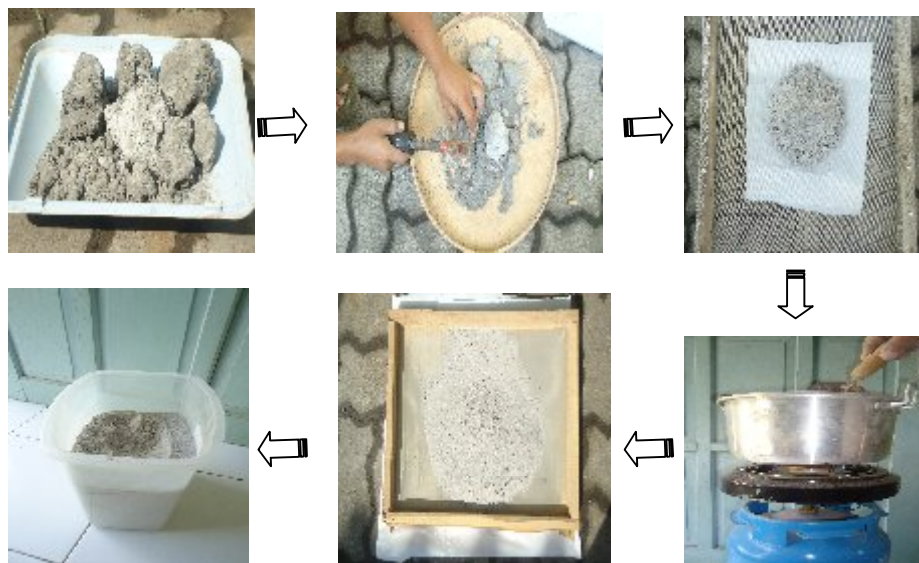
Refractory Seger Kegel 34 (SK 34) merupakan jenis refraktori asam yang memiliki kandungan (SiO_2) Silikon Dioksida atau Silika sebesar 69,05%, dan memiliki kandungan Al_2O_3 sebesar 22,17%. Refraktori ini memiliki nilai *Refractoriness under load* sebesar 0,2 MPa, Ta (1350°C), Porositas 19-23 (%), Bulk density 2,10 - 2,15 (g/cm^3), kuat tekan dingin sebesar 25 (MPa), dan memiliki nilai ekspansi termal sebesar 1000°C .^[10]

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

1. Abu Vulkanik

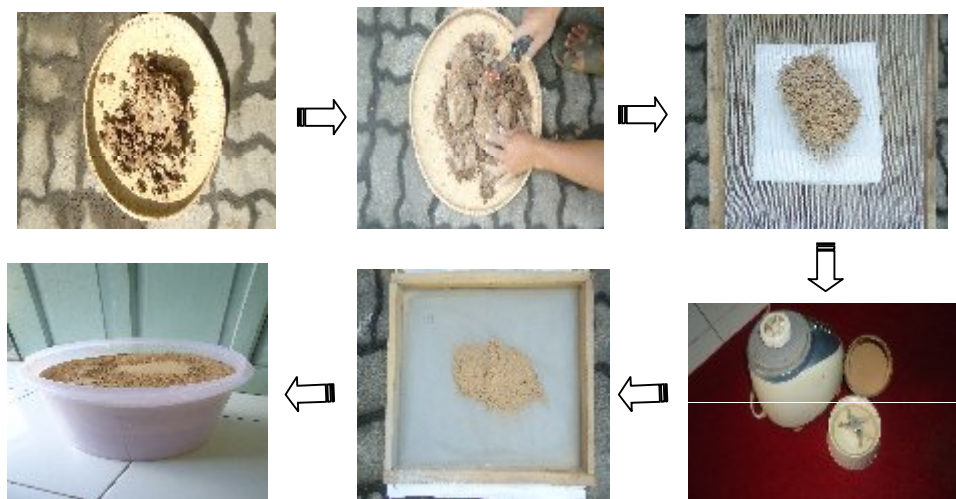
Abu vulkanik yang dimaksud merupakan hasil letusan Gunung Merapi di Yogyakarta. Abu Vulkanik masih dalam kondisi basah dan bercampur pasir-pasir berkerikil, dimana kotoran dan *batu kerikil* tercampur menjadi satu. Kemudian abu vulkanik tersebut secara manual dikeringkan, disaring dan dilakukan proses *screening* sampai pada variasi ukuran butiran tertentu (*mesh 150*). Proses pengambilan keputusan untuk menggunakan *mesh 150* yaitu dengan melakukan *sample screening* 2 kg abu vulkanik dari urutan *mesh 350,250,200,150,50*. Dari hasil *screening* tersebut didapatkan hasil *screening* yang menggunakan *mesh 150*, diperoleh jumlah volume yang paling besar. Dengan pertimbangan bahwa ukuran *mesh 150* menghasilkan ukuran abu vulkanik yang tidak terlalu lembut sehingga tidak berbahaya bagi pernafasan operator. Selain alasan di atas, diharapkan dengan ukuran *mesh* tersebut operator tidak mengalami kesulitan dalam proses *screening*.



Gambar 3.1. Abu Vulkanik

2. Tanah Liat (*Clay*)

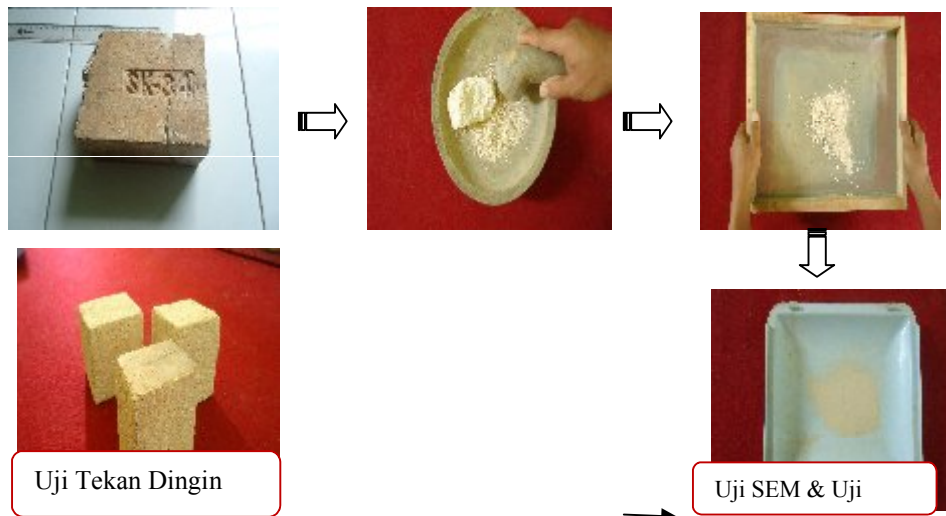
Tanah liat yang dimaksud didapatkan di daerah Tembalang Semarang. Tanah liat yang digunakan banyak sekali ditemukan, sehingga dalam proses pembuatan refraktori diharapkan tidak mengalami hambatan dalam proses pencarian bahan bakunya. Tanah liat yang masih berbentuk Gumpalan tersebut dijemur, ditumbuk dan dihancurkan, kemudian disaring dan dilakukan proses *screening* sampai pada variasi ukuran butiran yang sama dengan abu vulkanik (*mesh 150*).



Gambar 3.2. Tanah Liat

3. Refractory SK 34

Refractory SK34 merupakan refraktori lokal yang digunakan pada sebuah tungku pembakaran. Refraktori ini mempunyai bentuk butiran yang agak besar dibandingkan dengan refraktori paduan abu vulkanik dan tanah liat. Refraktori ini berwarna putih. Pada proses pengujian selanjutnya refraktori ini akan diketahui kandungan senyawa di dalamnya, yaitu dengan pengujian *XRF* (*X-Ray Fluorescence*). Berikut ini adalah langkah yang harus dilakukan sebelum dilakukan uji *XRF* (*X-Ray Fluorescence*).



Gambar 3.3. Refractory SK34

3.2. Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa peralatan untuk memperlancar kegiatan, dimana peralatan tersebut antara lain;

1. *Sieving* (ayakan)

Digunakan untuk mendapatkan ukuran serbuk yang seragam. Ukuran *sieve* yang digunakan adalah *mesh* 150.



Gambar 3.4 Mesh 150

2. Peralatan konvensional untuk penumbukan dan pencampuran bahan

Alat yang digunakan adalah palu, *blender*, sendok, gelas ukur, baskom, terpal, plastik, dan timbangan digital.



Gambar 3.5 Peralatan Konvensional

3. Alat uji komposisi (XRF)

Digunakan untuk mengetahui komposisi mineral dan karakteristik bahan.

Alat yang ini terdapat di laboratorium MIPA Universitas Indonesia.



Gambar 3.6 Mesin *X-Ray Fluorescence (XRF) Rigaku Corporation*

4. Alat cetak tekan (*hidraulic press*)

Alat yang digunakan terdapat di laboratorium Fenomena jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Digunakan untuk mencetak bahan menjadi spesimen uji berbentuk (kubus 5x5x5)cm dengan sistem hidrolik.



Gambar 3.7 Alat Cetak Tekan (*hydraulic press*)

5. Tungku pemanas (tungku Carbolite)

Digunakan untuk proses perlakuan panas (*sintering*) spesimen yang telah dicetak dengan temperatur 900°C, 1000°C, 1100°C. Tungku ini terdapat di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada Yogyakarta.



Gambar 3.8 Tungku Pemanas (Carbolite)

6. Alat uji abrasi

Digunakan untuk menganalisa dan mencari nilai ketahanan terhadap abrasi/erosi paduan. Alat yang digunakan terdapat di perusahaan jasa *Sand blasting method* di Pantai Alam Indah Tegal. Dengan menggunakan tekanan 5 bar, diameter nosel, 1,5 cm, waktu abrasi 5 detik dan jarak 30 cm.



Gambar 3.9 Alat Uji Abrasi

7. Alat uji tekan (*compression test machine*)

Digunakan untuk menganalisa dan mengetahui nilai kuat tekan dan sifat mekanis lainnya dari paduan. Pengujian dilakukan di laboratorium bahan dan konstruksi jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro.



Gambar 3.10. Alat uji tekan CCSCCTM tipe HT-8391

8. Alat uji SEM (*Scanning Electron Mikroskop*)

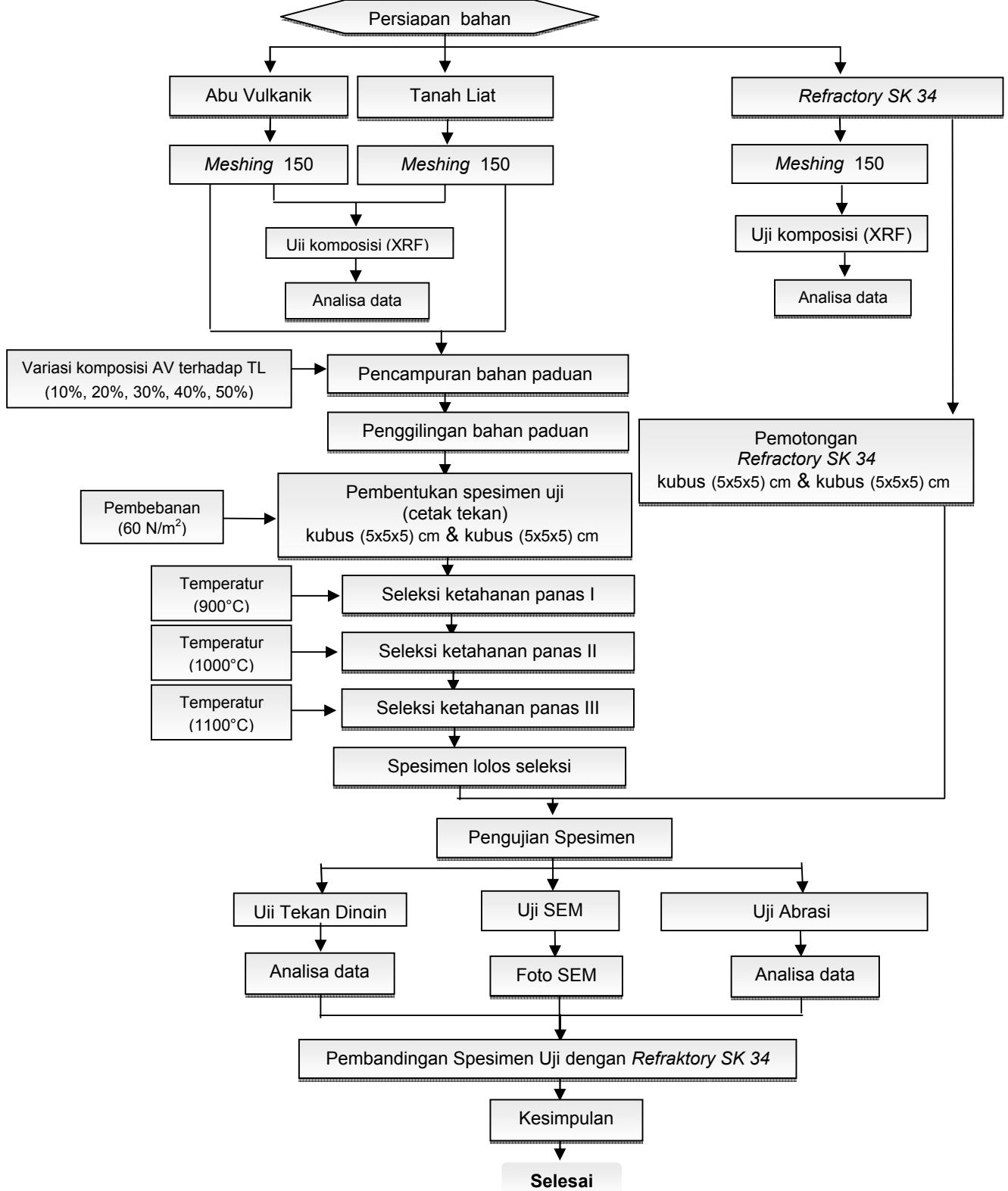
Digunakan untuk mengetahui atau menganalisa struktur mikro yang terkandung di dalam paduan. Alat yang digunakan terdapat di Laboratorium Borobudur Magelang.



Gambar 3.11. Alat uji SEM INSPEX S50 FEI

3.3. Alur Kerja Penelitian

Tahapan penelitian secara utuh dalam bentuk diagram alir:



Gambar 3.12. Diagram alir metode penelitian

Keterangan :

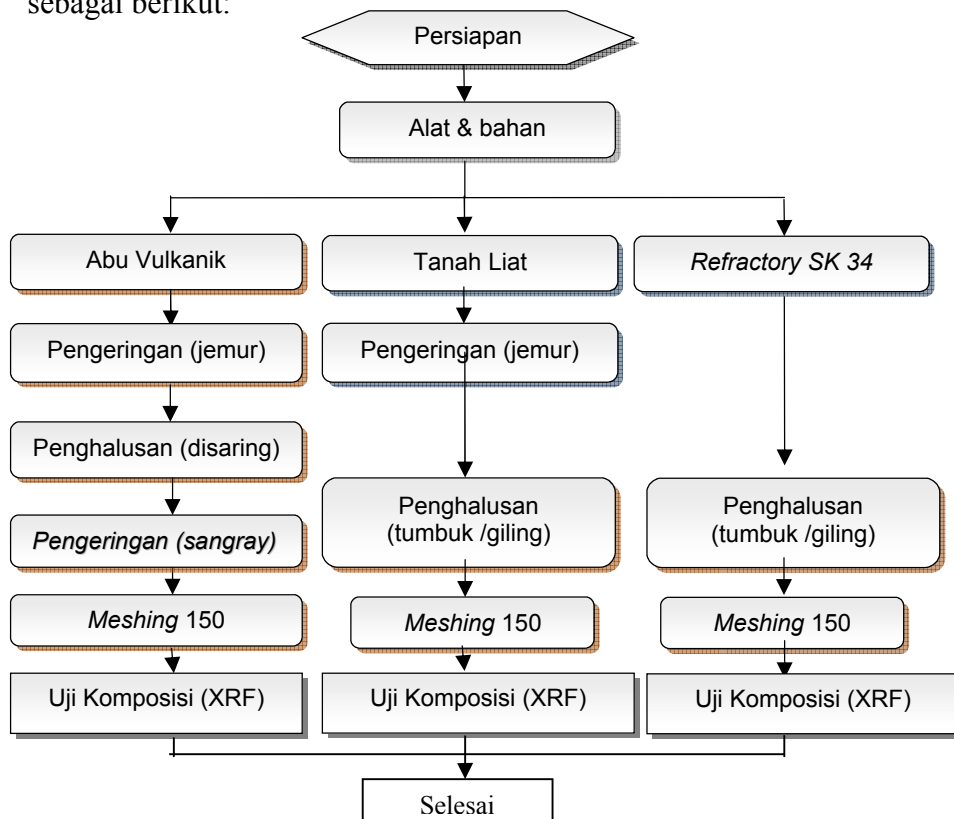
1. Studi pustaka dan persiapan

Bertujuan untuk mendapatkan data awal serta teori yang diperlukan dalam penelitian. Materi yang diperlukan adalah pembuatan spesimen uji dan standar pengujian, sedangkan persiapan meliputi persiapan alat dan bahan penelitian.

2. Persiapan bahan paduan

Pertama, abu vulkanik yang masih berbentuk gumpalan dan basah dikeringkan, ditumbuk/dihaluskan dan dilakukan *screening* dengan *mesh* 150. Begitu pula dengan proses yang dilakukan untuk tanah liat dan *Refractory SK34*. Kemudian ketiga bahan tersebut dianalisa komposisi kimia dan karakteristiknya melalui pengujian fasa XRF.

Secara rinci, diagram alir dari tahapan persiapan bahan paduan adalah sebagai berikut:

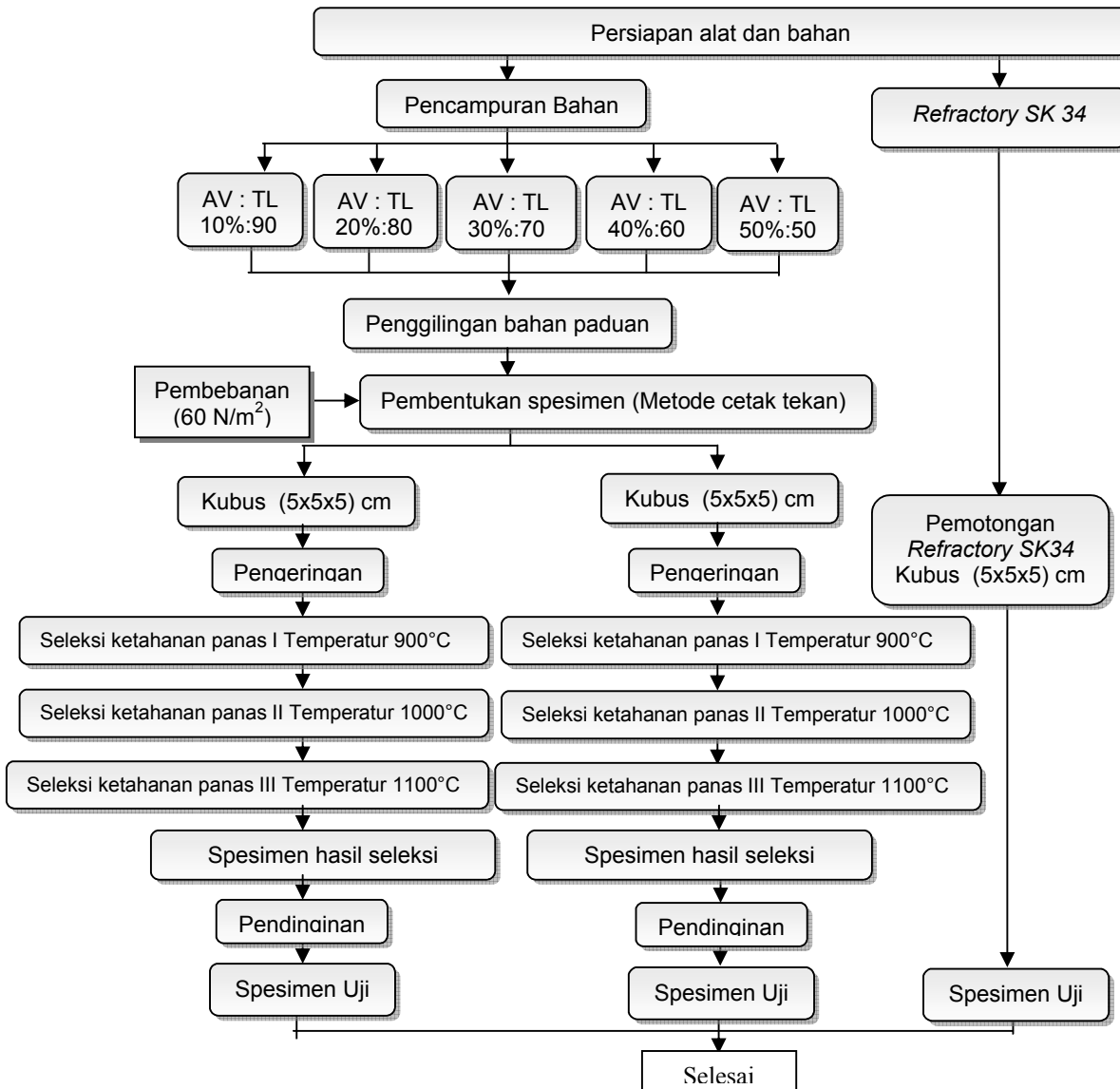


Gambar 3.13. Diagram alir persiapan bahan

3. Pembuatan spesimen uji

Semua bahan dicampur secara dengan variasi komposisi abu vulkanik terhadap tanah liat: 10%, 20%, 30%, 40%, & 50%.. Setelah paduan siap, maka langsung dilakukan penggilingan bahan paduan, kemudian dilakukan pembentukan spesimen dengan metode cetak tekan atau *hidroulic press* dengan pembebanan seragam 60 N/m². Setelah itu dilakukan proses seleksi ketahanan panas dengan suhu 900°C, 1000°C, 1100°C.

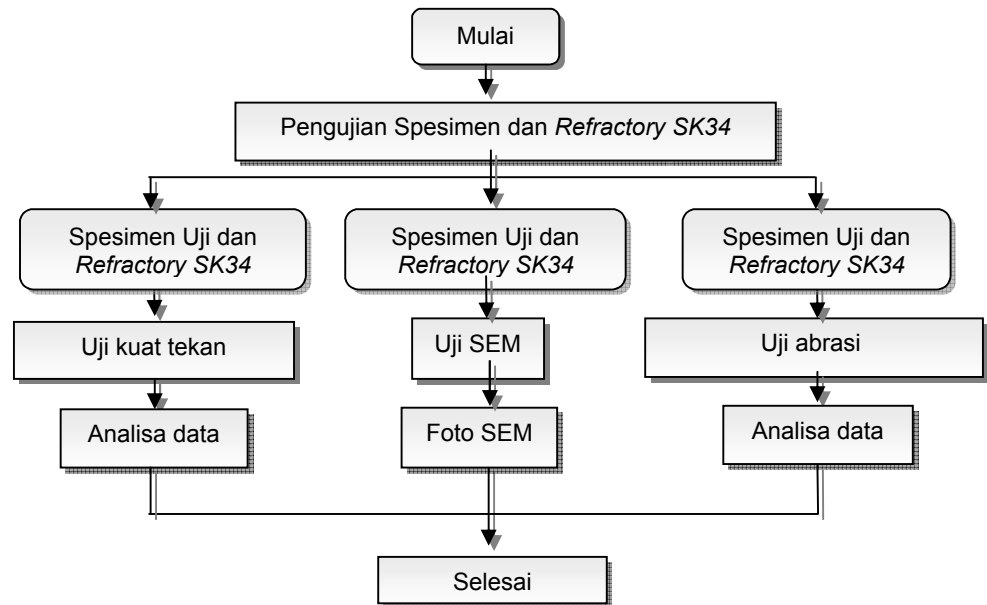
Berikut adalah diagram alir dari tahapan pembuatan spesimen uji:



Gambar 3.14. Diagram alir proses pembuatan spesimen

4. Pengujian

Adapun Diagram alir dari proses pengujian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.15. Diagram alir pengujian spesimen dan Refractory SK34.

Setelah spesimen jadi, dilakukan uji kuat tekan dingin dan uji abrasi untuk mengetahui sifat mekanis paduan serta mencari nilai abrasi sehingga didapat parameter optimal pengujian. Kemudian dilakukan pengujian SEM untuk menganalisa struktur mikro yang terbentuk dari proses pengerjaan.

5. Analisa data

Pengumpulan, pengolahan, dan analisis terhadap data pengujian yang telah diperoleh. Kemudian data yang telah diolah, dianalisa berdasarkan teori dari referensi dan literatur, kemudian dibuat grafik hubungan aditif sesuai variasi komposisi paduan serta perbandingan spesimen uji dengan Refractory SK34.

6. Kesimpulan

Tahap pengambilan kesimpulan dari keseluruhan proses hasil yang didapatkan.

7. Selesai

3.4. Parameter Pengujian

Parameter pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Ukuran serbuk/butiran bahan paduan: *mesh* 150.
2. Variasi komposisi Abu Vulkanik terhadap Tanah Liat adalah 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%.
3. Bentuk spesimen uji: kubus (5x5x5)cm.
4. Bentuk *Refractory SK34*: kubus (5x5x5)cm.
5. Pembebanan cetak tekan: 60 N/m²
6. Temperatur pembakaran 900°C,1000°C,1100°C.
7. Laju pembebanan uji tekan: 500 N/s

3.5. Metode Pengujian yang Dilakukan

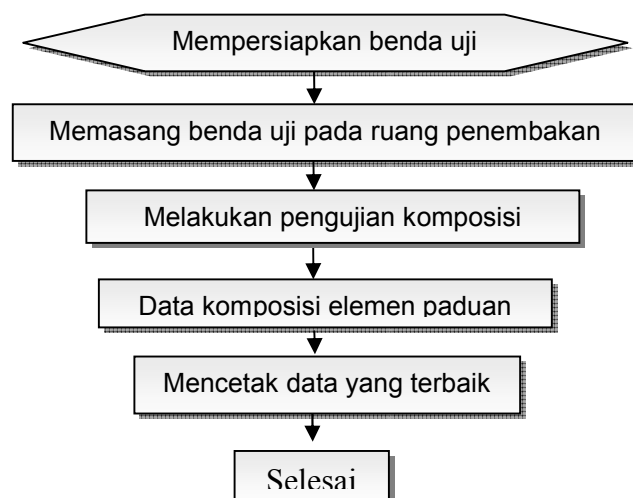
Untuk menghasilkan produk sesuai tujuan dari penelitian ini, maka spesimen diuji dengan beberapa tahapan pengujian.

3.5.1 Pengujian Komposisi Bahan

Digunakan untuk menganalisa komposisi mineral dan karakteristik limbah (abu vulkanik dan tanah liat) melalui proses identifikasi fasa yang terbentuk. Alat yang digunakan adalah mesin XRF (*X-Ray Flourescence*), dimana pengujian dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Indonesia.

Prosedur pengujian:

Berikut adalah prosedur pengujian komposisi yang disajikan dalam bentuk diagram alir:



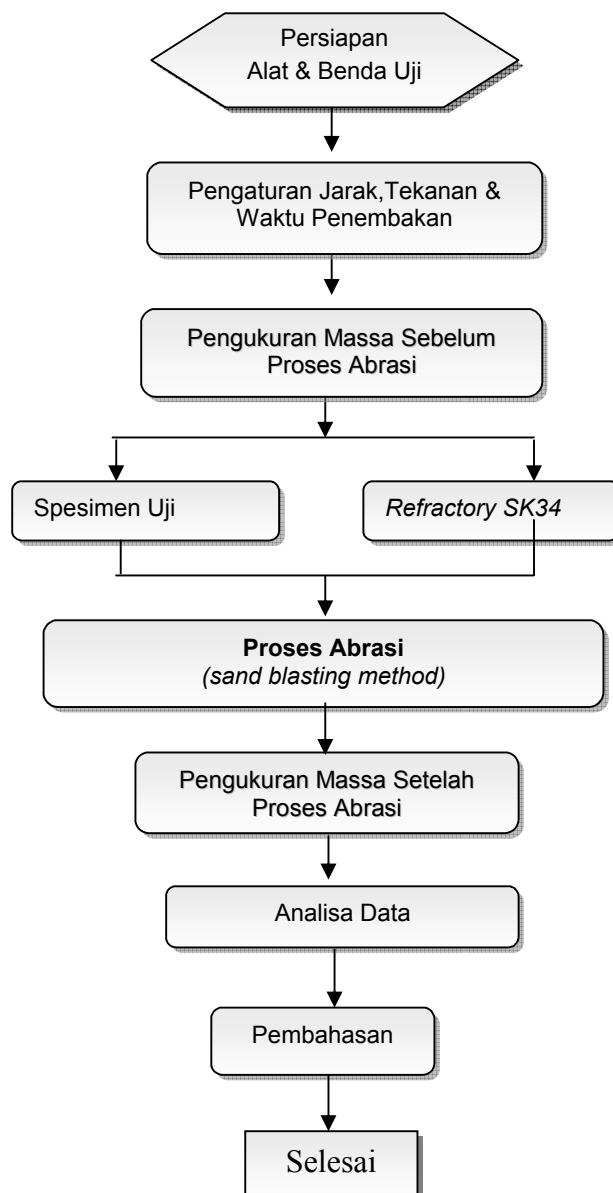
Gambar 3.16. Diagram alir uji komposisi

3.5.2 Uji Abrasi

Pada pengujian abrasi menggunakan metode *Sand Blasting Method* dengan pengaturan tekanan 5 bar, diameter nosel 1,5 cm, waktu abrasi 5 detik dan jarak 30 cm.

Prosedur pengujian:

Berikut adalah prosedur pengujian komposisi yang disajikan dalam bentuk diagram alir:



Gambar 3.17. Diagram alir uji abrasi

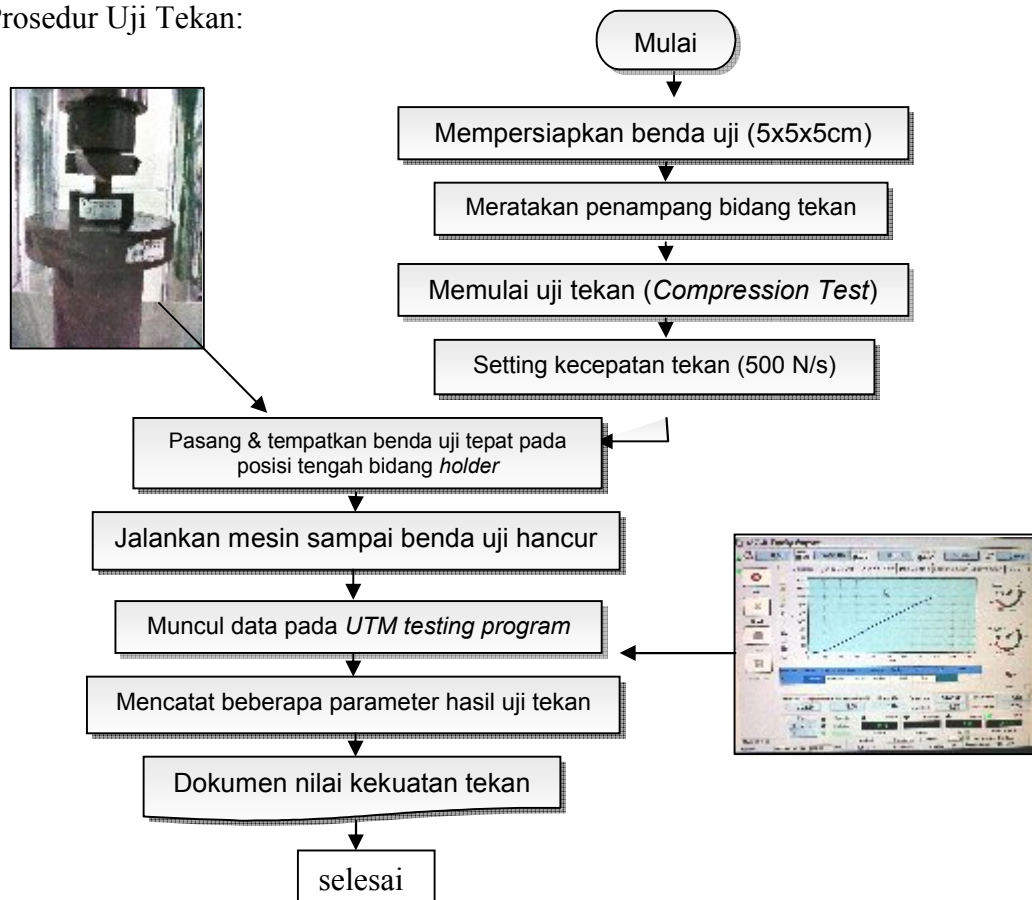
3.5.3 Uji Tekan (*Compression Test*)

Digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan sifat mekanis lainnya dari spesimen paduan. Alat yang digunakan adalah CCSCCTM (*Computer-Control Servohydraulic Concrete Compression Testing Machine*) tipe HT-8391.



Gambar 3.18. Alat uji tekan CCSCCTM tipe HT-8391 [laboratorium Bahan dan Konstruksi jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.]

Prosedur Uji Tekan:



Gambar 3.19. Diagram alir pengujian kekuatan tekan

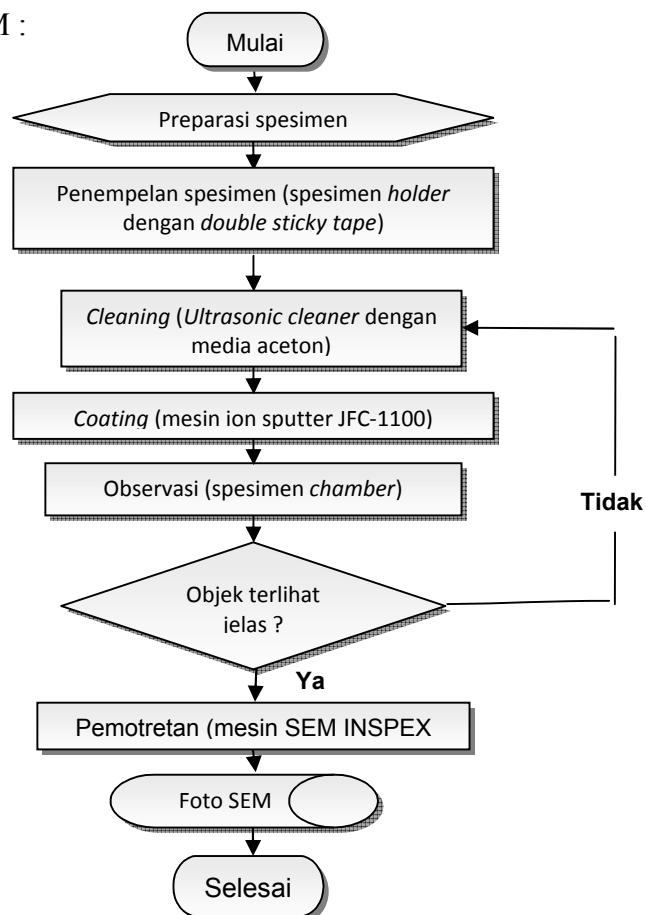
3.5.4 Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk menganalisa struktur mikro spesimen paduan. Mesin SEM yang digunakan yaitu SEM INSPEX S50 FEI.



Gambar 3.20. Alat uji SEM INSPEX S50 FEI. [Laboratorium Borobudur, Magelang.]

Prosedur Pengujian SEM :



Gambar 3.21 Diagram alir pengujian SEM