

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah salah satu yang termasuk ke dalam proses manufaktur. Pengecoran logam berguna untuk membentuk suatu barang dengan menggunakan cetakan mulai dari bentuk yang sederhana hingga bentuk yang rumit, baik kecil maupun besar. Mekanisme dari pengecoran logam ini ialah dengan cara mencairkan logam (*ferro* dan *non ferro*) di dalam tungku peleburan hingga mencapai titik lebur, kemudian dituangkan ke dalam cetakan yang telah dipersiapkan dan didiamkan hingga cairan tersebut mengeras. Pengecoran logam pertama kali pada dilakukan pada abad ke-40 sebelum masehi (SM), sedangkan tahun yang lebih tepatnya belum diketahui [6]. Paduan *nonferrous* seperti paduan aluminium, paduan tembaga, paduan timah hitam, dan paduan ringan lainnya biasanya dilebur dengan menggunakan dapur peleburan jenis krusibel, sedangkan untuk besi cor biasanya menggunakan dapur induksi frekuensi rendah atau kupola.

Proses penuangan (pengecoran) ialah pengisian rongga cetakan dengan bahan tuangan yang telah dileburkan (dicairkan), berbagai cara penuangan dapat dilakukan sesuai dengan sistem pengecoran yang digunakan, seperti penuangan pada cetakan pasir dilakukan dengan sistem penuangan menggunakan panci tuang (*ladle*), dimana cetakan dibuat pada rangka cetak. Untuk pengecoran dengan cetakan logam dimana bentuk luar dari cetakan itu sendiri telah didesain sesuai

dengan perencanaan dalam proses pengecorannya. Pengecoran adalah proses fabrikasi logam, dimana logam dicairkan dan kemudian dituangkan ke dalam cetakan yang memiliki bentuk sesuai desain. Pengecoran umumnya dilakukan untuk membuat komponen-komponen yang besar dan memiliki bentuk yang rumit, serta pada material yang memiliki keuletan yang sangat rendah seperti besi tuang. Secara umum, proses pengecoran relatif lebih ekonomis jika dibandingkan dengan proses pembentukan. Pada proses pengecoran, terbagi ke dalam 8 jenis pengecoran, yaitu sebagai berikut:

1. *Permanent mold casting*, biasanya digunakan untuk logam *non ferro* dan dapat digunakan berulang kali. Ciri utama dari *permanent mold casting* ialah terletak pada cetakannya yang terbuat dari logam ataupun grafit.
2. *Centrifugal casting*, biasanya digunakan pada keramik, plastik, dan logam dengan memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memadatkan logam cair pada cetakan yang berputar.
3. *Investment casting/wax lost casting*, ialah pengecoran logam yang prinsip kerjanya menggunakan pola lilin pada cetakan dan kemudian dipanaskan cetakannya hingga lilin mencair dan keluar dari cetakan, selanjutnya logam cair akan dimasukkan ke dalam rongga cetak tersebut.
4. *Die casting*, biasanya digunakan untuk logam *non ferro* dan paduannya. Mekanisme yaitu dengan cara menekan logam cair pada rongga cetak hingga membeku.
5. *Hot chamber die casting*, mekanisme dari pengecoran ini ialah logam cair diinjeksikan secara cepat ke dalam rongga cetak namun tetap dilakukan

penekanan secara bersamaan hingga membeku. Ciri utama pada pengecoran ini ialah pada tungku dan mesin cetak menjadi satu.

6. *Cold chamber die casting*, biasanya digunakan untuk membuat coran yang memiliki titik leleh tinggi. Pengecoran ini menggunakan mesin yang berfungsi untuk menekan cairan logam (secara hidrolis) masuk ke dalam rongga cetak dan menutup cetakan. Ciri utamanya berbeda dengan *hot chamber die casting* yang tungku dan mesin cetaknya menjadi satu, pada pengecoran ini tungku dan mesin cetaknya terpisah.
7. *Injection molding*, biasanya digunakan pada gelas, plastik, dan karet (material non logam). Mekanismenya yaitu dengan cara menekan cairan non logam masuk ke dalam rongga cetak dan didinginkan oleh air hingga material tersebut menjadi dingin dan mengeras sehingga dapat dikeluarkan dari cetakan.
8. *Blow molding*, ialah suatu proses pengecoran dengan menggunakan mesin tiup dan cetakan. Mekanismenya yaitu dengan membuat bahan coran awal dalam bentuk pipa berlubang yang dimana bagian luarnya telah disiapkan cetakan. Kemudian dengan melewati lubang tersebut dan ditiupkan udara yang menyebabkan bahan coran melebar mengikuti cetakan, setelah itu coran dibiarkan membeku.



Gambar 2.1 Pengecoran Logam

2.2 Keramik

Keramik adalah bahan atau mineral yang terbuat dari tanah liat yang dibakar. Keramik sendiri berasal dari bahasa Yunani yaitu “*10ercampak*” yang memiliki arti suatu bentuk dari tanah liat yang mengalami proses pembakaran. Keramik temperatur tinggi yaitu keramik yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi serta tetap stabil yakni tidak meleleh dan tidak terdeformasi pada temperatur yang relatif tinggi, tahan terhadap perubahan temperatur yang mendadak serta tahan terhadap korosi baik yang disebabkan oleh terak (*slag*), logam cair maupun gas. Berdasarkan fungsinya, keramik dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Keramik tradisional, adalah keramik yang banyak digunakan untuk produk-produk yang sederhana, seperti bahan-bahan abrasif refraktori (tahan panas), gelas, porselin, dan bahan bangunan seperti beton, lantai dan lain-lain.
2. Keramik modern, keramik ini biasanya digunakan untuk teknologi canggih atau alat-alat teknik. Keramik modern memiliki sifat-sifat listrik, sifat

mekanik, dan sifat termal yang baik sehingga dapat digunakan untuk teknologi yang canggih.

Keramik adalah material logam dan non logam yang memiliki ikatan atom ionik atau ikatan ionik dan ikatan kovalen. Merupakan material padat, campuran inorganik yang terdiri dari elemen-elemen metalik dan nonmetalik terikat bersama melalui ikatan ionik atau kovalen. Keramik temperatur tinggi yaitu keramik yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi serta tetap stabil yakni tidak meleleh dan tidak terdeformasi pada temperatur yang relatif tinggi, tahan terhadap perubahan temperatur yang mendadak serta tahan terhadap korosi baik yang disebabkan oleh terak (slag), logam cair maupun gas. Keunggulan keramik dibanding logam sebagai bahan industri antara lain tidak korosif, ringan, keras, kuat, dan stabil pada suhu tinggi. Keramik pada awalnya diproduksi secara tradisional dari mineral alam, namun sekarang kegunaan keramik bermacam-macam fungsinya, dahulu hanya digunakan sebagai barang pecah belah, gerabah, namun sekarang telah menjadi industri yang cukup besar dengan aplikasi kegunaan seperti keramik porselin, sebagai salah satu bahan isolator listrik, peralatan pabrik dan lain sebagainya. Terdapat lima cara untuk membuat suatu keramik, yaitu sebagai berikut:

a. *Die Pressing*

Metode *die pressing* dilakukan dengan cara menghancurkan dan menghaluskan bahan keramik menjadi serbuk terlebih dahulu, lalu bahan keramik yang telah dihaluskan akan dicampurkan dengan pengikat (*binder*) organik kemudian dimasukkan ke dalam cetakan

dan ditekan dengan kuat tekan tertentu sehingga membentuk padatan yang cukup kuat.

b. *Rubber Mold Pressing*

Proses ini dilakukan untuk menghasilkan bubuk padat yang tidak homogen. Dalam pembuatannya menggunakan sarung yang terbuat dari karet. Bubuk dimasukkan ke dalam sarung karet kemudian dicetak menggunakan cetakan hidrostatik.

c. *Extrusion Molding*

Pembuatan keramik ini menggunakan lubang cetakan. Metode ini biasanya digunakan dalam pembuatan pipa saluran atau material yang memiliki suhu normal untuk penampang lintang tetap.

d. *Slip Casting*

Metode ini dilakukan bertujuan untuk memperkeras suspensi dengan air atau cairan lainnya, kemudian dituangkan ke dalam plester berpori, lalu air akan diserap dari daerah kontak ke dalam cetakan dan kemudian terbentuklah lapisan keramik yang kuat.

e. *Injection Molding*

Metode ini menggunakan bahan yang bersifat plastis kemudian diinjeksikan dan dicampur dengan bubuk ke dalam cetakan. Metode ini digunakan untuk memproduksi benda yang mempunyai bentuk beragam atau kompleks.

Namun pada umumnya proses pembuatan keramik memiliki dua tahapan akhir yaitu proses pengeringan dan proses pembakaran untuk menjadi sebuah

keramik, yaitu sebagai berikut:

a. Pengeringan

Pada umumnya pengeringan zat padat berarti pemisahan sejumlah kecil air atau zat cair lainnya dan bahan padat sehingga mengurangi kandungan sisa zat cair di dalam zat padat tersebut. Proses ini harus di kontrol, karena melibatkan penekanan yang diakibatkan oleh perbedaan *shrinkage* atau tekanan gas dapat menyebabkan cacat pada produk yang dihasilkan. Pada sistem pengeringan, energi panas harus melewati permukaan produk, yang selanjutnya akan menghasilkan uap air. Selama pengeringan pemanasan akan meningkatkan tekanan uap air dari cairan dan kapasitas penyerapan dari udara kering. Benda-benda yang dibakar harus dikeringkan terlebih dahulu, karena jika pada kondisi basah di bakar, kemungkinan akan terjadi ledakan uap air sewaktu dibakar dan ini akan menyebabkan keretakan bahan. Mengeringkan benda keramik berarti menghilangkan apa yang disebut air plastisnya saja, sedangkan air yang terikat dalam molekul bahan keramik (air kimia) hanya dapat dihilangkan melalui pembakaran. Proses pengeringan juga akan diikuti dengan proses penyusutan. Kerusakan seperti cacat/retak dapat terjadi pada saat pengeringan, karena pencampuran tidak homogen dan pengeringan yang tidak merata pada bagian bagiannya sehingga terjadi tegangan antara bagian-bagian tersebut. Permukaan yang retak tersebut menunjukkan permukaan bahan yang rapuh. Kelebihan kadar air dapat juga membuat permukaan produk menjadi lengkung, retak dan keporiannya meningkat.

Lengkungan dihasilkan oleh pengeringan yang tidak merata dan terjadi penyusutan sehingga bentuknya berubah. Metode konveksi dan konduksi banyak digunakan untuk pengeringan keramik.

b. Pembakaran (*Sintering*)

Sintering adalah proses penggabungan partikel-partikel serbuk melalui peristiwa difusi pada saat suhu meningkat [7]. Pada dasarnya *sintering* adalah peristiwa penghilangan pori-pori antara partikel bahan, pada saat yang sama terjadi penyusutan komponen, dan diikuti oleh pertumbuhan grain serta peningkatan ikatan antar partikel yang berdekatan, sehingga menghasilkan bahan yang lebih mampat/kompak. Pada *sintering* terjadi peristiwa-peristiwa sebagai berikut:

1. Proses pertama terjadi pelepasan air bebas (H_2O) dan terikat (OH) berlangsung sekitar suhu $100-300^{\circ}C$.
2. Pada suhu $>500^{\circ}C$ partikel-partikel yang semula terikat lemah karena hanya melakukan kontak lemah satu sama lain, mulai memperluas permukaan kontak akibat difusi atom.

Proses pembentukan ukuran kontak dipicu oleh difusi permukaan, difusi kisi, dan difusi *grain boundary*. Ketika material yang disusun oleh partikel-partikel tersebut dibakar maka luas permukaan kontak partikel tumbuh, namun ruang kosong antar partikel tetap ada, meskipun bentuknya berubah. Tidak mungkin menghilangkan ruang kosong kecuali terjadi penyusutan volume total material atau perubahan jarak antar atom semakin besar. Dengan demikian, dalam keramik yang sedang dibakar,

ruang kosong di dalamnya tetap ada. Dengan demikian, keramik yang disusun oleh partikel-partikel dalam struktur hcp lebih kuat dari pada yang tersusun dalam kubus sederhana. Tetapi tidak mudah mengontrol penyusunan partikel dalam bahan keramik. Kita tidak memiliki cara paling efektif mengontrol penyusunan partikel agar teratur dengan struktur tertentu. Pada proses *sintering* terjadi perubahan struktur bahan, seperti perubahan pada jumlah pori, pertumbuhan butir serta peningkatan densitas. Faktor-faktor yang mempengaruhi bahan dalam proses sinter ini antara lain adalah komposisi bahan dan penekanan pada pencetakan bahan. Sebelum melakukan proses *sintering* ini terlebih dahulu masing-masing sampel diukur volumenya dengan mengukur panjang, lebar dan tinggi sampel dengan menggunakan jangka sorong (*Vernier Calliper*). Hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan dimensi dari sampel, yang menyatakan bahwa sampel mengalami proses pemadatan. Proses *sintering* dipengaruhi oleh faktor-faktor ukuran partikel, temperatur, waktu, energi permukaan dan lain-lain. Melalui proses ini terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butiran, peningkatan densitas dan penyusutan. Sedangkan pada bahan keramik, terjadi perubahan pokok yaitu berkurangnya luas permukaan, volume bulk dan meningkatnya kekuatan [8].

2.3 Krusibel

Krusibel atau yang dikenal dengan kowi merupakan salah satu jenis

peralatan pada peleburan logam berupa mangkuk kecil dengan tutup dan terbuat dari bahan porselen ataupun logam inert yang tahan panas. Krusibel dapat terbuat dari bahan grafit, tanah liat, besi tuang, baja, hingga silikon karbida (SiC). Pada peleburan logam *nonferrous* seperti tembaga, timah hitam, serta 16campak tidak membutuhkan panas pada temperatur yang terlalu tinggi sehingga bahan krusibel yang digunakan dapat berupa tanah liat, grafit, dan bata tahan api (refraktori). Posisi api yang disemburkan ke dalam tanur tersebut 16campak pada bagian samping tanur bagian bawah, hal ini dilakukan agar api yang disemburkan tersebut tidak bertabrakan dengan pot yang posisinya ada di tengah tanur. Tujuan dari posisi 16campak api yang ditempatkan di posisi samping dan bawah supaya api yang disemburkan bisa berputar dalam tanur dengan arah menuju ke bagian atas tanur, sehingga panas semburan api tersebut bisa merata di sekeliling dinding tanur. Bahan refraktori yang digunakan pada krusibel harus memenuhi beberapa karakteristik yaitu tidak terpengaruh oleh sifat kimia dari leburan logam, memiliki kemampuan *thermal shock* yang baik, tahan temperatur tinggi, memiliki koefisien panas rendah, serta tidak mencemari bahan yang bersinggungan pada saat proses peleburan.

Pembuatan krusibel memiliki tahapan yang sama seperti tahapan dalam pembuatan keramik. Tahapan 16campak terdiri dari pembentukan sesuai desain, *pressing*, dan pengeringan. Secara detail pembuatan krusibel diawali dengan tahap persiapan, pengolahan bahan (penumbukan, pengayakan, serta pencampuran bahan yang akan digunakan), pengeringan dengan udara dan panas matahari, dan 16campak dengan pembakaran atau pemanasan dan *finishing*.

Peleburan krusibel biasanya digunakan di mana logam paduan dengan titik leleh rendah, seperti perunggu, 17ercampa, dan paduan seng, dan aluminium. Pengeluaran modal sederhana yang diperlukan untuk tungku ini membuatnya menarik bagi pengecoran kecil non logam. Bahan refraktori untuk pembuatan krusibel harus mempunyai karakteristik tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap perubahan temperatur yang mendadak (*thermal shock*), tidak terpengaruh sifat kimia dari lelehan bahan peleburan, tidak mencemari bahan yang bersinggungan serta memiliki koefisien panas yang rendah sehingga dapat menghemat panas. Krusibel tanah lempung mempunyai beberapa kelebihan sebagai berikut : [9].

1. Tahan Panas: Keramik memiliki sifat tahan panas yang baik sehingga cawan lebur keramik dapat menahan suhu tinggi yang dihasilkan selama proses peleburan logam.
2. Ketahanan terhadap Korosi: Keramik umumnya tahan terhadap korosi kimia yang disebabkan oleh logam cair atau bahan peleburan lainnya, sehingga mencegah kontaminasi logam yang dilebur.
3. Ketahanan terhadap Pencemaran: Cawan lebur keramik cenderung tidak bereaksi dengan logam atau bahan peleburan lainnya, sehingga risiko kontaminasi atau pencemaran logam menjadi lebih rendah.

Untuk kekurangan dari krusibel tanah lempung sebagai berikut:

1. Kerapuhan: Salah satu kelemahan utama dari cawan lebur keramik adalah kerapuhannya. Mereka rentan terhadap pecah atau retak jika terkena tekanan atau benturan yang kuat.

2. Pemeliharaan yang Sulit: Meskipun tahan terhadap korosi, cawan lebur keramik memerlukan perawatan yang cermat untuk mencegah retak atau pecah pada permukaannya akibat penggunaan berulang atau perubahan suhu yang drastis.

Meskipun memiliki beberapa kelemahan, cawan lebur keramik masih digunakan dalam industri peleburan logam karena sifat tahan panas, ketahanan terhadap korosi, dan kemampuannya untuk menghasilkan logam yang bersih dan bebas kontaminasi. Namun, keputusan untuk menggunakan cawan lebur keramik harus dipertimbangkan dengan cermat terhadap faktor-faktor seperti biaya, kebutuhan pemeliharaan, dan kecocokan untuk aplikasi tertentu. Krusibel dengan bahan dasar grafit banyak dipakai karena memiliki ketahanan temperatur yang tinggi dan tidak terjadi reaksi antara cairan yang di lebur dengan bahan krusibel tersebut. Pembuatan krusibel sama dengan pembuatan keramik, yaitu dengan membentuk adonan, *pressing*, dan dilakukan pengeringan. Tahapan pada proses pembuatan keramik meliputi tahap persiapan, pengolahan bahan (penumbukan bahan, pengayakan, dan pencampuran material), pembentukan (mencampurkan material dengan air serta mencetaknya), pengeringan (dilakukan tanpa sinar matahari, yaitu dengan diangin-anginkan saja), pembakaran atau pemanasan, dan *finishing*. Krusibel dengan bahan dasar grafit banyak dipakai karena memiliki ketahanan temperatur yang tinggi dan tidak terjadi reaksi antara cairan yang dilebur dengan bahan krusibel tersebut. Krusibel dengan bahan grafit merupakan cawan kowi yang paling baik karena dengan penggunaan bahan tersebut memiliki ketahanan suhu yang tinggi dan tidak terjadi reaksi antara cairan yang dilebur

dengan bahan cawan tersebut. Krusibel dengan bahan *grafit* lebih sering digunakan untuk pengecoran *19ercampak* tembaga dan *19ercampa* yang memiliki titik lebur mulai dari 950°C sampai dengan 1050°C. Dalam proses penggunaannya, setelah kowi dipasang dalam tungku dengan pemakaian yang terus menerus akan mengalami penipisan dan yang tertinggal hanyalah lempung, yaitu bahan pengikatnya, sehingga ketahanan panasnya pun menurun [10].

Hal tersebut dapat dilihat dari perubahan warnanya. Kowi yang baru berwarna hitam kelabu, semakin lama pemakaian warna menjadi semakin muda kemudian menguning dan akhirnya coklat kemerahan. Kowi ini harus selalukering dan disimpan di tempat yang hangat dan tidak lembab. Kowi grafit yang lembab akan kehilangan lapisan gelasnya saat digunakan, sehingga cepat menjadi aus. Peleburan dan penuangan logam pengecoran yang menggunakan peralatan krusibel meliputi tungku peleburan, peralatan tuang, dan induksi listrik. Peleburan krusibel juga bisa digunakan sebagai peralatan penyesuaian kualitas antara tungku peleburan dan cetakan untuk mengubah struktur kimia dan suhu lelehan untuk mengontrol faktor-faktor seperti kandungan porositas. Peleburan krusibel merupakan proses yang sederhana dan fleksibel. Tungku krusibel umumnya dapat dimulai atau dimatikan pada saat itu juga. Biasanya, tidak ada biaya tambahan tenaga kerja untuk mengawasi penggunaan peralatan ini, Krusibel ditempatkan ke dalam tungku, setelah peleburan logam yang sudah cair dikeluarkan dari tungku dan dituangkan ke dalam cetakan. Prinsip kerja pencairan muatan pada tungku jenis krusibel dengan sumber panas dari bahan bakar minyak (cair) atau arang/kokas (padat) adalah dengan cara bahan bakar dimasukkan ke dalam ruang

reaksi (*burner*) sehingga akan menimbulkan panas dialirkan secara radiasi ke dinding krusibel. Selanjutnya energi panas ini dipindahkan secara konduksi ke dalam muatan melalui dinding krusibel. Reaksi pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen (O_2) dalam udara menghasilkan gas CO_2 dan H_2O serta energi panas. Energi panas tersebut yang diperlukan untuk mencairkan muatan dalam krusibel hingga mencair. Efisiensi panas/peleburan dari tungku. Tungku krusibel adalah salah satu jenis tungku peleburan tertua dan paling sederhana yang digunakan dalam pengecoran. Tungku menggunakan wadah tahan panas, yang berisi muatan logam. Muatan dipanaskan melalui konduksi panas melalui dinding krusibel (Stefanescu, 1998)



Gambar 2.2 Krusibel [3]

2.4 Tanah

Penyebaran tanah di Indonesia terdiri dari 10 ordo yaitu Histosols, Entisols, Inceptisols, Vertisols, Andisols, Alfisols, Mollisols, Ultisols, Oxisols, dan

Spodosols. Tingkat kesuburan tanah di Indonesia bervariasi dari rendah sampai tinggi. Tanah Inceptisols memiliki tingkat kesuburan tanah yang bervariasi mulai dari rendah hingga tinggi. Sifat tanahnya bereaksi masam sampai agak netral, dengan kadar bahan organik rendah dan kejenuhan basa tinggi. Kandungan hara rendah disebabkan difiksasi oleh liat, Al, Fe dan Ca. Permasalahan di tanah Ultisol karena tingkat pelapukan lanjut dan basa-basanya tercuci sehingga tanah bereaksi masam dan memiliki kejenuhan Al yang tinggi. Unsur hara makro terutama P, K, Ca, dan Mg dan kandungan bahan organik rendah pada tanah Ultisols. Reaksi tanah masam ketersediaan P rendah disebabkan terfiksasi liat, Al dan Fe membentuk Al-P dan Fe-P yang sukar larut sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Sedangkan tanah Andisols mempunyai kandungan bahan organik dan KTK tinggi, bulk density rendah, retensi P tinggi. Ketersediaan P dipengaruhi oleh Ph tanah dan kandungan Al dan Fe bebas.

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Selain itu, tanah dalam pandangan Teknik Sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*). Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan gletser, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses

kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbon dioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel yang berukuran koloid ($<0.002\text{mm}$) yang dikenal sebagai mineral lempung. Secara umum tanah dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu tanah berkohefif dan tanah tak berkohefif. Tanah berkohefif adalah tanah yang mempunyai karakter fisisnya selalu mendapat pembasahan dan pengeringan yang menyusul butiran tanah yang bersatu sesamanya sehingga gaya akan diperlukan untuk memisahkan dalam keadaan kering, contoh lempung. Tanah tak berkohefif adalah butiran-butiran terlapis sesudah dikeringkan dan hanya melekat apabila dalam keadaan basah akibat daya tarik permukaan butiran di dalam air, contohnya tanah berpasir [11].

2.5 Klasifikasi Tanah

Secara umum, karakteristik kimia atau kesuburan tanah wilayah studi tergolong rendah. Hal tersebut didasarkan pada kategori Pusat Penelitian Tanah (1983) dalam Hardjowigeno (1995), yang mengandung unsur-unsur hara makro (N, P dan K) serta unsur hara mikro (Na, Ca, Mg dan K) tergolong rendah. Hal tersebut mengakibatkan kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman menjadi rendah. Minimnya kandungan hara dalam tanah juga dimungkinkan oleh sistem penggunaan lahan yang tanpa menerapkan kaidah-kaidah konservasi seperti penggunaan teras. Hal tersebut diperlihatkan oleh rendahnya kandungan bahan organik tanah terkecuali pada tanah ordo Andisols.

Tingginya aliran permukaan tentunya akan sekaligus membawa hara- hara yang terdapat di permukaan yang mengakibatkan permukaan tanah (*topsoil*) menjadi miskin hara [12]. Oleh sebab itu, selain diperlukan upaya konservasi tanah juga pemupukan yang membantu menambah kandungan hara dalam tanah. Berikut ini merupakan sistem klasifikasi tanah yang sering banyak digunakan yaitu:

1. Sistem Klasifikasi *Unified (Unified Soil Classification System)*

Sistem klasifikasi ini mengelompokkan tanah dengan menggunakan simbol prefiks untuk menunjukkan sub divisi di dalam kelompok, seperti terlihat pada. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik.

2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of state Highway and Transportation Officials*) yang membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Sistem ini berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan- batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat. Adapun Tanah dibedakan menjadi dua bentuk bagian yaitu:

1. Tanah Berbutir Kasar: Biasanya berbentuk kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus

2. Tanah Berbutir Halus: Pasir halus atau lempung Organik dengan 24ercampakka rendah sampai dengan sedang.

2.6 Tanah Lempung

Lempung (*clay*) merupakan bagian dari tanah yang sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral lempung (*clayminerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Menurut Terzaghi lempung adalah tanah mikrokonik hingga sub mikrokonik yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimia penyusun batuan. Tanah liat sangat keras saat kering dan tidak dapat dengan mudah dihilangkan dengan jari Anda [13]. Permeabilitas lempung sangat rendah, plastis dengan kadar air sedang. Sedangkan Bowles Mendefinisikan lempung sebagai deposit dengan partikel kurang dari atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah yang lebih besar dari 50% [11]. Hardiyatmo menjelaskan bahwa sifat lempung meliputi ukuran butir halus kurang dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, penumpukan air kapiler tinggi, kohesi tinggi, laju pengembangan tinggi, dan proses solidifikasi lambat [14]. Dalam klasifikasi tanah secara umum, partikel lempung berdiameter 2 m atau sekitar 0,002 mm (USDA, AASHTO, USCS). Namun, dalam beberapa kasus, partikel berukuran antara 0,002 mm dan 0,005 mm masih diklasifikasikan sebagai partikel lempung (ASTMD653).

Di sini, tanah diklasifikasikan sebagai lempung berdasarkan ukurannya saja, tetapi tanah dengan ukuran partikel lempung tidak harus mengandung

mineral lempung. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid, merupakan gugusan kristal berukuran mikro, yaitu $< 1 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m}$ merupakan batas atasnya). Tanah lempung merupakan hasil proses pelapukan mineral batuan induknya, yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen, dan karbondioksida. Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempung kristal pembentuk kristal dasar, yaitu silika tetrahedra dan aluminium oktahedra [10]. Mineral lempung terdiri dari tiga komponen penting yaitu *montmorillonite*, *illite* dan *kaolinite*. Mineral *montmorillonite* mempunyai luas permukaan lebih besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah banyak biladibandingkan dengan mineral yang lainnya, Sehingga tanah yang mempunyai kepekaan terhadap pengaruh air ini sangat mudah mengembang. Dalam terminologi ilmiah, lempung adalah mineral asli yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus dan mempunyai komposisi berupa hydrous aluminium dan magnesium silikat dalam jumlah yang besar (ASTM). Mineral lempung digolongkan berdasarkan susunan lapisan oksida silikon dan oksida aluminium yang membentuk kristalnya. Golongan 1:1 memiliki lapisan satu oksida silikon dan satu oksida aluminium, sementara golongan 2:1 memiliki dua lapis golongan oksida silikon dan satu lapis oksida aluminium. Mineral lempung golongan 2:1 memiliki sifat elastis yang kuat, menyusut saat kering dan membesar saat basah. Secara umum ada 2 jenis *clay* yaitu: [4].

1. *Ball clay*, ini digunakan pada keramik putih karena memiliki plastisitas

yang tinggi dengan tegangan putus yang tinggi dan belum pernah digunakan sendiri. Jenis tanah ini disebut lempung sedimen, berbutir halus dan berwarna abu-abu. Titik lelehnya sekitar 1800 ° C. Kaolin digunakan dalam pembuatan keramik, porselen dan ubin.

2. Tanah liat tahan api (*Fire clay*), jenis tanah ini biasanya berwarna abu-abu muda 26macam gelap sampai hitam. *Fireclay* diperoleh secara alami dalam bentuk gumpalan yang keras dan kental. Lantai jenis ini tahan terhadap luka bakar pada suhu tinggi tanpa mengubah bentuknya. Ada 3 jenis *fireclay* yaitu, *fireclay* flin dengan struktur yang kuat, *fireclay* plastik dengan *workability* yang baik, dan tanah liat alumina tinggi yang sering digunakan sebagai bahan tahan api dan tahan api.

Kaolin adalah jenis tanah lempung yang mengandung mineral kaolinit dan dibuat melalui pelapukan. Kaolin merupakan salah satu jenis tanah liat primer yang digunakan sebagai bahan utama pembuatan gerabah putih dan sebagian besar mengandung mineral kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), oleh karena itu kaolin umumnya disebut sebagai tanah liat putih. Kaolin merupakan massa batuan dari bahan lempung dengan kandungan besi yang rendah, umurnya berwarna putih dan agak keputihan. Kaolin memiliki komposisi terhidrasi aluminium silikat ($2\text{H}_2\text{O}.\text{AlO}_3.2\text{SiO}_2$), disertai dengan mineral yang menyertainya. Kaolin dapat digunakan dalam pembuatan keramik, bahan medis, pelapis kertas, cat konstruksi, sebagai aditif dalam makanan dan pasta gigi [4].



Gambar 2.3 Tanah lempung

Tanah lempung yang dibakar akan mengalami perubahan sesuai dengan zat yang terkandung pada tanah lempung, salah satu perubahan yang terjadi seperti warna. Warna pada tanah lempung bervariasi tergantung pada oksida logam yang ada di tanah liat. Pada masing-masing tanah lempung mempunyai kandungan oksida besi yang bervariasi, sehingga tanah lempung yang dibakar memiliki warna berbeda-beda. Selain warna ada beberapa perubahan sifat pada tanah lempung ketika dibakar seperti berikut: [15].

- a. Pada temperatur $\pm 150^{\circ}\text{C}$, air yang ditambahkan dalam tanah lempung akan menguap.
- b. Pada suhu antara $200^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$, air yang terikat secara kimia dan zat lain di dalam tanah liat menguap.
- c. Pada suhu di atas 900°C , terjadi perubahan kristal dari tanah lempung dan mulai terbentuk gelas yang akan mengisi pori-pori sehingga batu bata menjadi padat dan keras.
- d. Senyawa besi akan berubah menjadi senyawa yang lebih stabil dan

seringkali mempengaruhi warna.

- e. Tanah lempung kembali menyusut, yang disebut penyusutan terbakar. Penyusutan pada saat pembakaran diharapkan tidak menimbulkan cacat seperti perubahan bentuk (lengkungan), retak dan retak. Tanah lempung yang telah dibakar tidak dapat berubah kembali lagi menjadi tanah lempung oleh pengaruh udara maupun air.

2.7 Grafit

Grafit adalah mineral yang merupakan salah satu dari varian pembentukan unsur karbon, yang sangat penting dalam dunia industri karena memiliki banyak kegunaan, termasuk beberapa teknologi baru dan berkembang seperti baterai lithium ion, angin dan energi matahari, sel bahan bakar, semikonduktor atau bahkan graphene [16]. Grafit adalah bentuk alotropikarbon, karena kedua senyawa ini mirip namun struktur atomnya mempengaruhi sifat kimiawi dan fisiknya. Grafit memiliki tingkat kekerasan yang rendah. Grafit tidak terbakar dan larut dengan mudah dalam lelehan logam. Grafit terbentuk pada metamorfosa tingkat tinggi dari batuan yang mengandung zat organik dapat terjadi pula karena proses magmatisme. Grafit memiliki koefisien gesek yang rendah, material ini dapat digunakan sebagai *solid lubrication* atau pelumas padat. Grafit adalah bentuk kristal karbon lunak dan getas, memiliki kekerasan Brinell HB kira-kira 1, kekuatan tarik 2 kgf/mm^2 dan berat jenisnya $2,2 \text{ kg/mm}^3$ [6]. Mineral grafit terdiri dari tiga jenis, yaitu mikrokristalin (amorf); urat (gumpalan kristal); dan serpihan. Mineral yang paling umum digunakan dalam industri ditemukan di

industri bahan tahan api. Grafit terutama digunakan untuk baterai sel kering, bahan pencampur pelumas, cat, bahan untuk pembuatan cawan lebur (*metal melting furnace*), sikat dinamo, elektroda untuk proses galvanisasi, bahan untuk pembuatan sepatu Rem kendaraan, digunakan dalam pengecoran baja dan pembuatan pensil. Grafit berwarna abu-abu karena delokalisasi elektron di antara permukaannya dan dapat bertindak sebagai konduktor listrik. Grafit juga dikenal sebagai timbal hitam, mineral grafit banyak ditemukan pada batuan metamorf yaitu *shale, phyllite, shale, gneiss* [4].

Saat ini telah dibuat berbagai bentuk karbon berupa grafit sintetis dan intan sintetis, karbon adsorban, kokas, karbon hitam, serat grafit dan karbon, karbon gelas, karbon serupa intan dan lain-lain, yang akan digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kontak elektrik dan elektroda, pelumas, pemoles sepatu, batu permata, pisau potong, penyerap gas, dan lain-lain. Industri nuklir, memanfaatkan grafit sebagai bahan moderator untuk berbagai jenis reaktor fisi. Grafit yang telah digunakan sebagai moderator reaktor, diproduksi dengan berbagai jenis tingkatan (*grade*), sebagai contoh *Pile Grade A* (PGA) digunakan pada reaktor *Magnox* dan *Gilsocarbon* digunakan di *Advanced Gas-Cooled Reactor* (AGR). Grafit dengan grade nuklir merupakan komposit karbon-karbon *grade* industri yang telah diberikan perlakuan panas antara 2500°C hingga 3000°C. Elektroda grafit merupakan bahan dengan karakteristik konduktivitas listrik dan kemampuan ketahanan terhadap kejut termal yang digunakan pada tungku busur listrik untuk membuat baja. Material 29ercampakkan sintetis dengan kemurnian kimia yang tinggi dan memiliki mikrostruktur yang kompleks, akan mempengaruhi sifat

mekanik dalam kondisi ekstrim dan ketahanan terhadap iradiasi. Berdasarkan cara terjadinya dan bentuknya, membagi 3 tipe grafit, yaitu:

1. Grafit urat (*Vein Graphite*) yaitu Grafit pada urat – urat mengandung 75% - 100% *graphitic carbon*, biasanya hancur, bentuk memipih dan terkesan saling mengikat. Mineral pengotor yang dijumpai adalah kuarsa, piroksin, feldspar, pirit, dan kalsit. Ketebalan urat bervariasi dari beberapa milimeter sampai puluhan *feet* dengan panjang jurus mencapai ribuan *feet* serta panjang penunjaman dapat mencapai 1500 *feet*.
2. Grafit amorf (*Amorphous Graphite*) yaitu Grafit jenis ini terbentuk dari lapisan batubara yang terkena proses metamorfosa, kental, umumnya masif dan berukuran *kriptokristalin*. Sedangkan ukuran, bentuk, kandungan karbon dan mineral pengotor tergantung pada awal terbentuknya lapisan batubara.
3. Grafit *flake* (*Flake Graphite*) yaitu Grafit ini bernilai baik bila material yang mengandung karbon terkena metamorfosa setingkat pembentukan garnet (metamorfosa dengan suhu dan tekanan yang tinggi). Kandungan karbon dalam grafit *flake* tergantung dari kandungan unsur karbon pada awal sedimentasi. Batuan metasedimen grafitik mengandung 90% grafit dan 3% *gneiss* serta sekis, mineral pengotor yang terdapat dalam grafit ini adalah mineral – mineral yang umum dijumpai pada batuan metasedimen tingkat tinggi seperti kuarsa, feldspar, mika, *amphibol*, dan garnet.



Gambar 2.4 Bubuk Grafit

2.8 Silicon Carbide (SiC)

Silikon karbida atau juga dikenal dengan karborundum merupakan turunan dari senyawa silikon dengan rumus empiris SiC, dibentuk oleh ikatan kovalen antara unsur Si dan C. Silikon karbida merupakan salah satu bahan keramik non- oksidasi terpenting yang diproduksi dalam skala besar berupa serbuk, bentuk-bentuk dan lapisan-lapisan tipis. Teknik mengubah bubuk SiC menjadi keramik menggunakan pengikat memiliki dampak besar pada nilai komersial SiC. Saat ini, SiC merupakan salah satu material yang memegang peranan penting dalam berbagai industri seperti dirgantara, elektronika, industri tungku dan komponen mekanik kekuatan tinggi Industri. Umumnya, industri metalurgi, abrasif dan refraktori juga merupakan pengguna SiC dalam jumlah paling besar [17] [18].

SiC adalah bahan keramik bebas oksida yang memiliki aplikasi luas. Kekerasan dan tahan panas tinggi menghasilkan digunakan sebagai abrasif di mesin dan amplas (kertas silikon karbida). SiC juga dapat digunakan sebagai bahan tahan panas karena tinggi sifat konduktivitas termal, suhu dekomposisi,

ketahanan kimia dan keterbasahan yang rendah oleh logam cair dan terak. Properti listrik memungkinkan juga aplikasi seperti elemen pemanas. Selain, SiC juga digunakan sebagai bahan paduan dalam pembuatan baja untuk penambahan unsur silikon dan karbon [19].

Aplikasi silikon karbida (SiC) dalam industri adalah karena sifat mekaniknya yang sangat baik, konduktivitas listrik dan termalnya yang tinggi, ketahanannya yang sangat baik terhadap oksidasi kimia, dan potensi fungsi keramik atau semikonduktor suhu tinggi. SiC juga memiliki sifat-sifat penting berikut: ketahanan oksidasi yang sangat baik, ketahanan mulur yang sangat baik, kekerasan tinggi yaitu sebesar 2200-2500 *vickers hardness*, kekuatan mekanik yang baik, modulus elastisitas yang sangat tinggi, ketahanan yang baik terhadap korosi dan erosi, dan bobot yang relatif ringan. Bahan baku SiC relatif murah dan dapat diproduksi dalam bentuk kompleks yang dapat dielakkan dengan metode manufaktur konvensional [17].

Silicon Carbide (SiC) dijumpai di alam hanya dalam bentuk lempengan heksagonal berukuran kecil dalam besi meteorik. Dengan memanaskan campuran *clay* dan serbuk C menggunakan panas busur listrik elektroda C pada temperatur > 1600°C. *Silicon Carbide* (SiC) adalah material keramik non-oksida yang paling luas aplikasinya. Kekerasan dan ketahanan panasnya yang tinggi menghasilkan aplikasi sebagai *abrasive* pada peralatan dan kertas gerinda (*silicon carbide paper*). *Silicon Carbide* (SiC) juga dapat dimanfaatkan sebagai material tahan panas karena tingginya sifat konduktivitas termalnya, temperatur dekomposisinya, ketahanan kimiawinya, serta *wettability* yang rendah oleh

logam cair dan terak. Sifat elektriknya memungkinkan juga aplikasinya sebagai elemen pemanas. Selain itu *silicon carbide* (SiC) juga dipakai sebagai bahan paduan dalam pembuatan besi baja untuk penambahan unsur silikon dan karbon.



Gambar 2.5 Bubuk *Silica Carbide*

2.9 Pengujian pada Krusibel

Pengujian pada suatu bahan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat dari suatu material dengan tujuan melakukan evaluasi untuk mencapai tujuan tertentu yaitu mendapatkan material yang sesuai dengan klasifikasi yang diinginkan. Secara umum pengujian pada material dibagi menjadi dua yaitu pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak (*Destructive Test*) Pengujian ini bersifat merusak benda kerja, sehingga dalam pengujian ini dibutuhkan specimen uji (specimen uji adalah duplikat dari benda kerja yang berasal dari bahan yang sama).

Destructive test merupakan pengujian yang dilakukan terhadap suatu material atau spesimen sampai material tersebut mengalami kerusakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa pada material yang bersangkutan, salah

satunya bila material tersebut dikenai kerja dari luar dengan besar gaya yang berbeda-beda. Secara umum *Destructive Test* dibagi dalam 3 jenis, yaitu.

1. Uji Mekanis

Tujuan Pengujian Mekanis Biasanya yang menjadi tujuan dalam pengujian mekanis seperti untuk mengevaluasi sifat mekanis dasar untuk dipakai dalam disain, untuk memprediksi performa kerja material di bawah kondisi pembebanan, untuk memperoleh data sifat mekanis dari material seperti kekuatan, kekakuan, elastisitas, plastisitas dan ketangguhan. Jenis – jenis Uji Mekanis yang ditinjau dari karakter mesin, Ada dua jenis uji mekanis pada material, yaitu:

1. Metoda pembebanan, dimana metoda pembebanan ini bergantung pada jenis beban yang diberikan, kecepatan beban yang diberikan dan jumlah beban yang diberikan.
2. Kondisi pengujian, kondisi pengujian mengacu pada temperatur yang dikenai pada material, bias temperature ruangan, temperatur tinggi dan temperatur rendah. Ada lima jenis pembebanan pada uji mekanis material yaitu tarik, tekan, geser, tekuk, puntir.

Dalam pengujian semua kondisi yang mempengaruhi pengujian harus tercatat dalam prosedur pengujian (*Testing Procedure*) dan juga kondisi tersebut harus terkontrol dan tetap (*Constant*). Contohnya kondisi atmosfer pada saat material diuji. Metode Pembebanan Ada dua jenis pada metode pembebanan uji mekanis material, yaitu:

1. Kecepatan pembebanan (the rate of load): kecepatan pembebanan

juga dibagi lagi menjadi tiga yaitu beban diberikan secara lambat/singkat, beban diberikan secara cepat, Impact Test dan beban diberikan sangat lambat sekali

2. Jumlah Pembebanan: jumlah pembebanan dibagi menjadi dua yaitu beban tunggal Pengujian mekanis umum dan beban berulang pengujian fatik. Setiap pengukuran kecuali penghitungan (counting) selalu terdapat variasi kesalahan dan ini harus terkontrol atau diketahui sehingga pengujian dapat disebut presisi & akurat.

2. Uji Struktur

Tujuan dari uji struktur untuk mengetahui komposisi kimia bahan, distribusi kekerasan, struktur mikro, struktur makro dan bentuk permukaan material uji. Data komposisi kimia diperoleh dari uji spektrometri, kemudian data nilai kekerasan diperoleh dari uji kekerasan Vickers dan data struktur mikro diperoleh dari uji metalografi. Analisa Uji struktur mikro yang diperoleh dari hasil uji metalografi dapat memberikan banyak informasi. Harus ada kesesuaian antara hasil uji komposisi dan struktur mikro. Struktur mikro material uji dibandingkan dengan struktur mikro material standar, jika ada perbedaan berarti ada proses tambahan yang mengubah struktur mikro tersebut. Proses itu kemungkinan besar dilakukan dengan *heat treatment*. Kemungkinan adanya proses *thermomechanical treatment* diperiksa dari perbedaan struktur mikro antara daerah dekat permukaan dengan daerah kedalaman. Jika ada *thermomechanical treatment* berarti ada pengayaan unsur tertentu di

daerah permukaan sebagai akibat difusi selama proses tersebut dilakukan. Hal ini dapat dilihat dari struktur mikro yang diperoleh dan harus diperiksa kesesuaian dengan hasil uji keras dan distribusi komposisi. Macam – macam Uji Struktur, Ada 3 macam uji struktur material, yaitu:

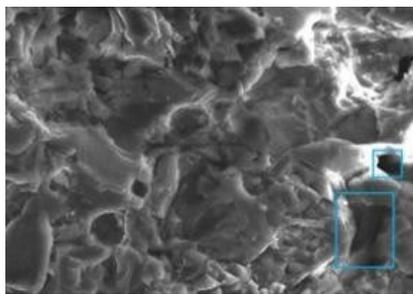
- a. Uji Permukaan Pecahan
- b. Uji Makroskopik
- c. Uji Kimia

Selanjutnya Pada Pengujian tidak merusak () Pengujian ini tidak merusak benda kerja, jadi tidak dibutuhkan spesimen uji dan dapat langsung di uji pada benda kerja. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat cacat permukaan maupun di bawah permukaan benda kerja. Pada penelitian mengenai krusibel ini terdapat beberapa pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui sifat dari material untuk memenuhi klasifikasi yang dibutuhkan sebagai krusibel. Berikut merupakan beberapa penjelasan mengenai pengujian SEM, pengujian tekan, pengujian porositas, dan pengujian PS 14.

2.10 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan

industri. Produk hasil pembakaran benda uji, dilakukan uji sifat kimia, untuk mengetahui struktur morfologi dari pembentukan refraktori tersebut dengan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM). Selain itu dilakukan uji fisik (porositas, densitas, penyerapan air, dan kekuatan mekanik) serta uji keramik untuk mengetahui kehandalan dari refraktori yang disintesis dari sifat-sifat keramikanya [20].



Gambar 2.6 Hasil pengukuran SEM sampel di sinter pada suhu 1200°C [21].

Dalam hasil SEM dari penilitan tersebut dilakukan variabel pembakaran pada suhu 900°C, 1000°C, 1100°C, 1200°C dengan menggunakan china tanah lempung sehingga menghasilkan rongga atau porositas pada suhu 900°C dan 1000°C untuk suhu 1100°C yang semakin berkurang antar partikel, dan pada suhu 1200°C porositas semakin berkurang kembali partikel semakin rapat dan semakin luas permukaan antar partikel [22].

2.11 Pengujian Tekan

Kuat tekan (*compressive strength*) adalah salah satu sifat mekanik bahan. Kuat tekan didapatkan dari gaya F yang diberikan pada bahan dibagi dengan luas

bidang tekan. Massa ini akan menekan bahan sepanjang arah tekan. Alat uji tekan memberikan informasi mengenai gaya yang diberikan dan luas permukaan tekan dihitung sesuai sampel yang digunakan. Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari keramik. Keramik yang akan diuji diletakkan pada mesin penekan. Ditekan dengan alat penekan sampai keramik pecah atau maksimal menahan beban atau tekanan. Pada saat pecah dicatat besarnya gaya tekan maksimum yang bekerja [23].

Kuat tekan merupakan ukuran maksimum suatu bahan menerima beban aksial. Kuat tekan (tegangan = *stress*) merupakan gaya persatuan luas pada suatu benda yang cenderung mengakibatkan benda tersebut mengalami deformasi. *Stress* merupakan ukuran gaya-gaya internal antara partikel-partikel bahan yang dikandung sebuah benda untuk melawan pemisahan, pemampatan atau penggelinciran sebagai reaksi terhadap gaya eksternal yang bekerja. Kuat tekan merupakan ukuran maksimum suatu bahan menerima beban aksial. Kuat tekan (tegangan = *stress*) merupakan gaya persatuan luas pada suatu benda yang cenderung mengakibatkan benda tersebut mengalami deformasi. *Stress* merupakan ukuran gaya-gaya internal antara partikel-partikel bahan yang dikandung sebuah benda untuk melawan pemisahan, pemampatan atau penggelinciran sebagai reaksi terhadap gaya eksternal yang bekerja. Kuat tekan suatu material 38ercampakkan38 sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya mekanis sampai terjadinya pemecahan. Kuat tekan ditentukan pada benda cetak empat persegi panjang yang telah dibakar pada suhu 900°C selama 4 jam, didinginkan diukur lebar dan tinggi.

Secara umum persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat tekan atau tekanan pada suatu bahan seperti ditunjukkan pada persamaan 2.1(Seriyanti, 2021). Persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat tekan atau tekanan pada suatu bahan seperti ditunjukkan pada persamaan (2.1). Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari keramik. Keramik yang akan diuji diletakkan pada mesin penekan. Ditekan dengan alat penekan sampai keramik pecah atau maksimal menahan beban atau tekanan. Pada saat pecah dicatat besarnya gaya tekan maksimum yang bekerja [23].

$$\text{Kuat Tekan} = P/A \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

P = Tekanan (N)

A = Luas Permukaan Bidang (mm²)

2.12 Pengujian Porositas

Pada umumnya, karakterisasi krusibel dilakukan dengan cara menggunakan pengujian porositas. Pengujian ini dilakukan dengan cara merendam objek ke dalam air. Pada pengujian ini, hal yang di amati ialah banyaknya volume ruang kosong yang direpresentasikan sebagai jumlah massa atau volume air yang terserap pada material keramik. Pengukuran dilakukan dengan perendaman dan persentase porositas. Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara volume ruang yang terdapat diantara suatu material yang berupa pori-pori (ruang diantara serbuk yang selalu terisi oleh fluida seperti udara, minyak atau gas bumi) terhadap volume material secara

keseluruhan. Porositas batuan merupakan rasio volume rongga- rongga pori terhadap volume total seluruh batuan yang dinyatakan dalam persen [24].

Porositas juga tergantung pada jenis bahan, ukuran, distribusi pori-pori, sementasi, riwayat diagenetik dan komposisinya. Suatu batuan dikatakan memiliki porositas efektif apabila bagian rongga-rongga dalam batuan saling berhubungan dan biasanya lebih kecil dari rongga- rongga pori. Pengujian porositas yang dilakukan mengacu pada standar pengujian ASTM C20-00. Nilai porositas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V = W-S \dots\dots\dots (2.2)$$

$$P = (W-D)/V \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

P = porosity (%)

D = Berat kering (gram)

W = Berat Kering Permukaan (gram)

S = Berat Dalam Air (gram)

V = Exterior volume (cm³)

2.13 Pengujian Susut Bakar

Susut bakar ialah perubahan dimensi atau volume dari suatu bahan yang telah dibakar. Identifikasi nya ialah menunjukkan penyusutan akibat adanya perubahan mikrostruktur. Hal tersebut terjadi dikarenakan penguapan pada air pada bagian badan keramik secara bebas, juga terjadi reaksi kimia dan fisika dari

tanah liat atau pun bahan yang digunakan yang berubah menjadi keramik secara permanen. Ukuran setelah menjadi keramik akan menyusut jika dibandingkan dengan ukuran awalnya [2].

Proses penguapan air yang terjadi pada saat proses pembakaran menyebabkan adanya pori-pori yang kosong diisi oleh partikel-partikel lempung sehingga terjadi penyusutan. Jika proses pembakaran dilakukan pada waktu yang lama maka partikel akan mengisi seluruh pori-pori yang kosong sehingga susunan partikel akan menjadi lebih rapat. Susut bakar suatu lempung yang baik tidak boleh terlalu besar, nilainya adalah kurang dari 2,5%. Susut bakar yang besar dapat menimbulkan kesukaran pada waktu pembakaran. Dengan semakin kecil susut bakar, maka dapat menghindari kemungkinan terjadinya retakan pada produk keramik atau bata merah. Nilainya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut Nilai volume susut bakar dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut: [25].

$$S = (V_0 - V_1) / V_0 \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

S = persentase susut volume

V_0 = volume sebelum dibakar (cm^3)

V_1 = volume sesudah dibakar (cm^3)

2.14 Pengujian X-Ray Fluorencence (XRF)

XRF merupakan metode yang digunakan untuk melihat unsur-unsur yang terkandung dalam lempung untuk menentukan layak tidaknya suatu lempung

digunakan dalam industri keramik sesuai dengan Standar Industri Indonesia. Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek foto listrik. Efek foto listrik terjadi karena elektron dalam atom target sampel terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar- X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X.

Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spectrum berenergi tertentu yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spectrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Bahan yang dianalisis dapat berupa padat massif, pelet, maupun serbuk. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan. Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa seperti peristiwa tersebut diatas ditangkap oleh oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi) [26].

2.15 Mixing

Mixing adalah proses pencampuran material untuk mengendap dan mendapatkan bentuk penyebaran partikel yang homogen. Pencampuran merupakan operasi yang bertujuan mengurangi ketidaksamaan kondisi, suhu, atau sifat lain yang terdapat dalam suatu bahan. Pencampuran dapat terjadi dengan cara menimbulkan gerak di dalam bahan yang dicampur dan menyebabkan bagian- bagian bahan saling bergerak satu terhadap yang lainnya, sehingga proses pengadukan hanyalah salah satu cara untuk operasi pencampuran. Parameter prosedur homogenisasi, seperti jenis, kecepatan pencampuran, tekanan air dalam mixer, urutan penambahan senyawa, waktu atau suhu pencampuran dapat mempengaruhi secara signifikan sifat-sifat dan kekerasan bahan. Semakin lama waktu pencampuran memungkinkan partikel bahan menyerap lebih banyak air [5].

Pada proses penelitian ini menggunakan *mixing* dengan pencampuran variasi waktu pengadukan selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit agar menghasilkan material tercampur secara homogen dikarenakan semakin lama waktu yang digunakan akan semakin homogen dan membuat nilai porositasnya semakin kecil sehingga densitas dari material akan meningkat begitu juga dengan nilai mekanik spesimen. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengadukan dan pencampuran diantaranya adalah perbandingan antara geometri penampung dengan geometri pengaduk, bentuk dan jumlah pengaduk, posisi sumbu Mekanisme konvektif: pencampuran yang disebabkan aliran cairan secara keseluruhan (*bulk flow*). Pengaduk, kecepatan putaran pengaduk, serta densitas

dan viskositas. Pencampuran terjadi pada tiga tingkatan yang berbeda yaitu: [27].

1. *Eddy diffusion*: pencampuran karena adanya gumpalan – gumpalan fluida yang terbentuk dan bercampurkan dalam medan aliran.
2. *Diffusion*: pencampuran karena gerakan molekuler.

Ketiga mekanisme tersebut terjadi secara bersama-sama, tetapi yang paling menentukan adalah *eddy diffusion*. Mekanisme ini membedakan pencampuran dalam keadaan turbulen dengan pencampuran dalam medan aliran laminar. Sifat fisik fluida yang berpengaruh pada proses pengadukan adalah densitas dan viskositas. Massa cairan dan perbedaan densitas antara dua cairan yang tidak bercampur adalah salah satu parameter yang mempengaruhi fase inversi. Waktu campuran untuk pencampuran cairan tak bercampur secara langsung berhubungan dengan viskositas fluida dan terbalik dengan kepadatan. Kepadatan yang lebih tinggi dari fasa terdispersi menyebabkan peningkatan waktu pencampuran. Waktu pencampuran adalah salah satu parameter yang paling signifikan dalam pencampuran cairan cair dalam peningkatan skala karena juga waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan tingkat keseragaman dan homogenitas yang pasti [27].

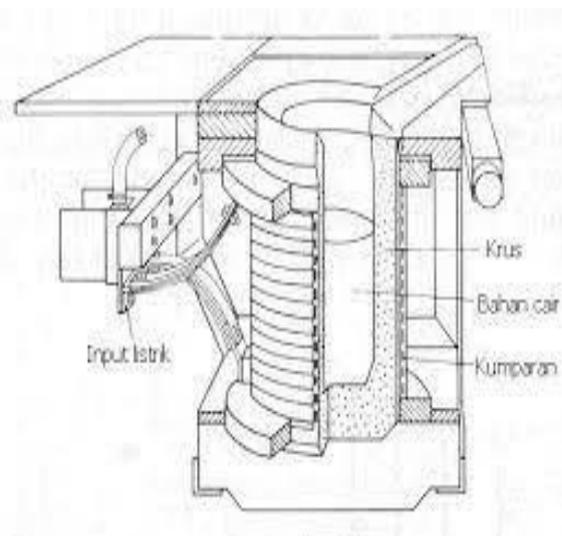
2.16 Jenis-jenis Tungku

Dalam proses pengecoran logam, tahapan peleburan untuk mendapatkan logam cair pasti akan dilakukan dengan menggunakan suatu tungku peleburan di mana material bahan baku dan jenis tungku yang akan digunakan harus disesuaikan dengan material yang akan dilebur. Terdapat macam – macam tungku

yang dapat digunakan untuk proses pengecoran logam yang sebagai berikut:

1. Tungku Induksi

Tungku induksi adalah tungku listrik yang memanfaatkan prinsip induksi untuk memanaskan logam hingga titik leburnya dimana panas yang diterapkan oleh pemanasan induksi medium konduktif (biasanya logam). Frekuensi operasi berkisar dari frekuensi yang digunakan antara 60 Hz sampai dengan 400 kHz bahkan bisa lebih tinggi hal tersebut tergantung dari material yang mencair, kapasitas tungku dan kecepatan pencairan yang diperlukan. Frekuensi medan magnet yang tinggi juga dapat berfungsi untuk mengaduk agar menghomogenkan komposisi logam cair. Tungku induksi banyak digunakan dalam peleburan modern karena sebagai metode peleburan logam yang bersih dari pada peleburan dari tungku *reverberatory* atau kupola.

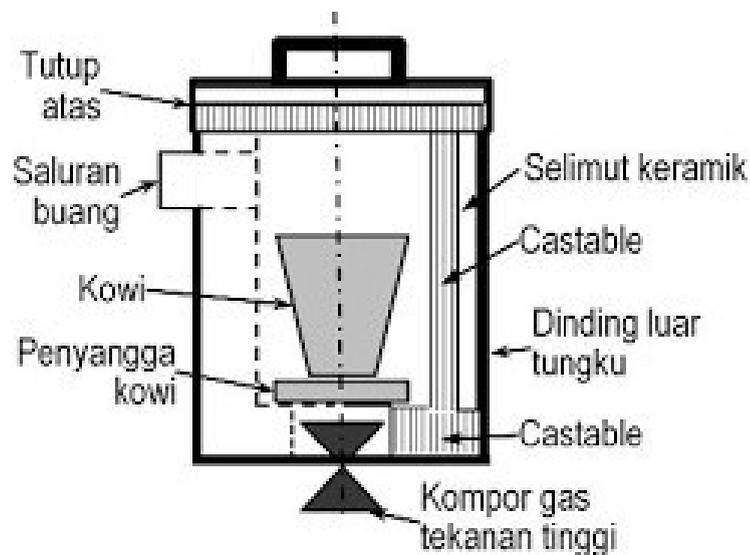


Gambar 2.7 Tungku Induksi

2. Tungku Krusibel

Krusibel atau yang dikenal dengan kowi merupakan salah satu jenis peralatan

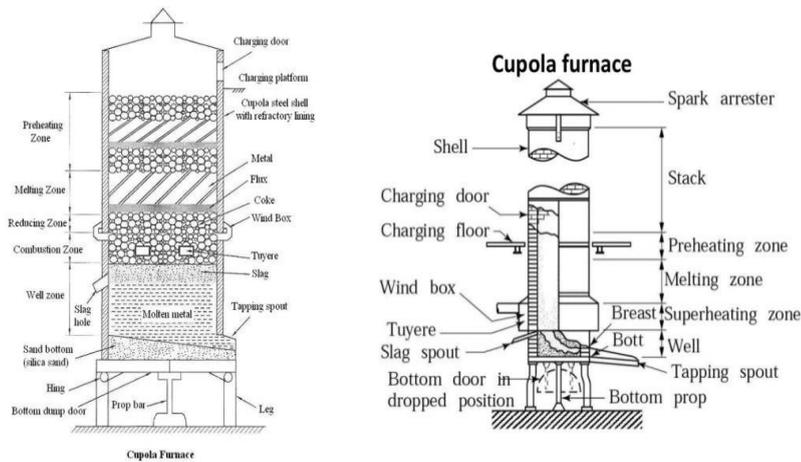
pada peleburan logam berupa mangkuk kecil dengan tutup dan terbuat dari bahan porselen ataupun logam inert yang tahan panas rincian spesifikasi dan kegunaan yaitu telah digunakan secara luas di sepanjang sejarah peleburan logam, Proses pemanasan dibantu oleh pemakaian berbagai jenis bahan bakar, Tungku ini bisa dalam keadaan diam, dimiringkan atau juga dapat dipindah-pindahkan, dan dapat diaplikasikan pada logam-logam ferro dan non-ferro.



Gambar 2.8 Tungku Krusibel

3. Tungku Kupola

Tungku Kupola merupakan tungku yang memiliki bentuk silindervertikal yang memiliki kapasitas besar. Tungku ini diisi dengan material pengisi antara lain besi, kokas, flux atau batu kapur, dan elemen paduan yang memungkinkan. Tungku ini memiliki sumber energi panas dari kokas dan gas yang diberikan untuk meningkatkan temperatur pembakaran,



Gambar 2.9 Tungku Krusibel

2.17 Bahan Refractory

Refractory adalah bahan anorganik bukan logam yang sukar leleh pada temperatur tinggi dan digunakan dalam industri temperatur tinggi seperti bahan tungku, dan sebagainya. Material refraktori sangat diperlukan untuk banyak industri proses. Material ini melapisi *furnace*, *tundish*, *ladle* dan sebagainya. Material ini juga digunakan sebagai *nozzle*, *spout*, dan *sliding gate*. Biaya untuk pembelian dan instalasi refraktori adalah faktor yang menentukan dalam biaya proses secara keseluruhan. Kegagalan (*failure*) material refraktori ketika digunakan dalam suatu proses dapat berarti suatu bencana. Material refraktori diharapkan dapat tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap korosi slag cair, logam cair dan gas-gas agresif, siklus termal (*thermal cycling*), tahan terhadap benturan dan abrasi dengan hanya sedikit perawatan. Banyak orang bekerja di Industri yang menggunakan refraktori tetapi hanya sedikit yang mengerti tentang material ini, sehingga pemborosan biaya tidak dapat dihindari. Refraktori didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu

mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi di bawah 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.

Material refraktori berdasarkan bentuknya dapat dibagi dua yaitu menjadi bata (*shaped*) dan monolitik (*unshaped*). Bentuk-bentuk bata refraktori tersedia dalam banyak bentuk dan ukuran, antara lain: lurus, kecil, kubah, belahan, tabung, dan lain-lain. Sedangkan untuk refraktori monolitik merupakan campuran butiran serbuk mineral. Material refraktori yang kering dengan bahan pengikat (*binder*) baik cair maupun bahan kimia cair lainnya yang berfungsi sebagai pengikat, sehingga diperoleh campuran yang homogen dan bersifat plastis apabila bercampur dengan air dan digunakan segera setelah proses pencampuran dilakukan. Refraktori yang baik diharapkan tidak memiliki pori-pori, bersamaan dengan komposisi fasa, dan porositas merupakan faktor yang sangat penting untuk diperhatikan selama pembuatan produk refraktori. Mengurangi porositas akan meningkatkan kekuatan dan tahanan terhadap korosi [28]. Adapun macam – macam refraktori yang umum digunakan, yaitu:

1. Refraktori Basa

Istilah refraktori basa adalah penggolongan refraktori secara umum yang bahan bakunya terbuat dari oksida-oksida yang bersifat basa, atau yang penggunaannya dalam lingkungan kondisi operasi basa. Alasan dari penggunaan refraktori basa, antara lain karena kemampuan operasinya pada temperatur tinggi dan memiliki ketahanan terhadap slag basa, tahan terhadap

korosi, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi.

2. Refraktori Alumina Tinggi

Refraktori alumina tinggi (Al_2O_3) memiliki kandungan alumina di atas 47,5% hal ini sesuai menurut standar ASTM dan digunakan temperatur operasi mencapai 2050 °C. Beberapa kelompok refraktori yang lain adalah mullite, alumina-chrome, alumina-carbon. Produk refraktori alumina tinggi dengan kandungan alumina antara 70%-78% dimana fasanya adalah mullite termasuk kategori refraktori mullite alumina tinggi. Refraktori jenis ini memiliki ketahanan spalling yang sangat baik dan ketahanan pembebanan yang tinggi.

3. Refraktori Silika

Refraktori silika juga digolongkan ke dalam refraktori kelompok asam, penggolongan ini menurut jumlah dari kemurnian kandungan refraktori silika yang biasa disebut “flux factor”, dimana kandungan unsur yang lain harus lebih sedikit seperti alumina (Al_2O_3) tidak lebih dari 1,5%, titania (TiO_2) tidak lebih dari 0,2%, besi oksida (FeO_3) tidak lebih dari 2,5% dan semen oksida (CaO) tidak lebih 4%. Nilai rata-rata dari MOR tidak kurang dari 3,45 Mpa. Refraktori silika mempunyai temperatur leleh pada (1600°C-1725°C) dan dapat menahan tekanan yang relatif tinggi.

4. *Refractory Fireclay High Duty*

Refraktori dengan jenis fireclay sebagian kandungannya terdiri dari nosilicates, tapi dalam jumlah yang sedikit dibandingkan kandungan mineral lain. Salah satu mineral yang digunakan dalam memproduksi fireclay adalah kaolinite.

5. *Refractory Kastabel*

Refraktori castable adalah jenis refraktori monolitik yang pemakaiannya makin meluas dan fleksibel. Refraktori castable tersusun dari bahan refraktori berupa agregat atau samot yang ukuran butir dan distribusi butirannya bervariasi dan bahan perekat berupa semen kalsium alumina dengan atau tanpa ditambah aditif.

6. Refraktori Mortar

Refraktori mortar berfungsi untuk mengikat satu bata dengan bata lainnya dan membentuk lapisan penutup pada sambungan. Setiap mortar memiliki sifat sendiri-sendiri, seperti perpaduan, kekuatan, ketidak tembusan, sifat plastis, dan kestabilan isi (volume stability).

7. *Refractory Fiber Blanket*

Keramik fiber blanket ialah bahan yang digolongkan pada refraktori yang berbasis serat aluminosilikat, putih, tidak berbau dan tahan suhu mencapai 1300°C. Material ini juga ringan, mudah dibentuk dengan nilai konduktifitas termal yang sangat kecil (Luthfan, 2018).