

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan sumber daya yang melimpah namun belum dikelola secara optimal. Tanah lempung alami membentuk *alumino-silicate hydrate* dengan berbagai variasi jumlah zat besi, magnesium, logam alkali dan alkali tanah yang bervariasi. Mineral lempung diklasifikasikan berdasarkan rasio silika terhadap alumina diantaranya *kaolinite* (1:1), *illite* (2:1) *smektite* (2:2) dan *chlorite* (2:1:1) (Saukani and Febrianti, 2016). Tanah lempung juga mencakup partikel tanah yang berukuran mikroskopik sampai submikroskopik dari pelapukan kimiawi batuan (Candra *et al.*, 2018). Tanah lempung merupakan bahan plastik dengan kadar air sedang. Dalam keadaan kering, tanah lempung sangat keras dan sulit dikupas dengan jari. Jika dilihat dari struktur mineralnya, tanah liat mengandung beberapa jenis mineral lempung sebagai berikut (Bintang, Setyanto and Adha, 2012) :

a. Kaolinite

Jenis ini termasuk golongan *kaolinite* dengan komposisi kimia $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ yang mempunyai morfologi lempeng. Mineral ini memiliki struktur yang kokoh dan memberikan sifat plastisitas serta sifat kembang susut yang rendah. Tanah lempung jenis ini sering dijumpai berwarna Putih hingga krem dan kuning pucat, juga sering diwarnai dengan berbagai corak, warna cokelat dan cokelat muda seperti pada Gambar 2.1. Memiliki deapenitas tembus dan buram, dan memiliki

densitas $2,63 \text{ g/cm}^3$. Tanah lempung jenis ini juga umumnya memiliki tekstur sangat halus, partikel-partikel lempungnya relatif besar dibandingkan dengan jenis tanah lempung lainnya. Tanah lempung jenis ini umum ditemukan di daerah dengan kelembapan yang tinggi, pegunungan, rawa dan danau.



Gambar 2.1 Tanah Lempung Kaolinite (Budiyanto *et al.*, 2008)

b. *Illite*

Salah satu jenis mineralnya bermika atau mika tanah yang memiliki butiran halus, halus saat disetuh, partikel-partikelnya sangat kecil, memiliki ukuran fraksi lempung yang dominan. dengan rumus kimia $K_yAl_2(FeMg_2Mg_3)(Si_{4y}Al_yO_{10})(OH)_2$. Pada jenis ini biasanya berwarna kuning pucat, abu-abu, atau putih kilau seperti pada Gambar 2.2. Jenis tanah lempung ini sering ditemukan sebagai pengendap dalam lingkungan perairan seperti danau atau sungai. Memiliki densitas $2,6 \text{ g/cm}^3$ sampai $2,9 \text{ g/cm}^3$ dan memiliki kekerasan 1 sampai 2 skala mohs.



Gambar 2.2 Tanah Lempung Illite (Budyanto *et al.*, 2008)

c. *Montmorilonite*

Mineral ini mempunyai sifat lentur dan mengembang atau menyusut, sehingga lentur apabila basah dan keras ketika dalam keadaan kering $\text{Al}_2\text{Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$. Tanah lempung jenis ini memiliki warna putih, kuning, merah muda sampai merah seperti pada Gambar 2.3. *Montmorilonite* memiliki tekstur yang sangat halus, dengan partikel-partikel yang sangat kecil, tekstur ini menghasilkan kemampuan penahanan air. Tanah lempung jenis ini memiliki kekerasan 1 sampai 2 skala mohs dan densitas 2 sampai 3 g/cm^3 , tanah jenis ini umumnya ditemukan di daerah dengan iklim tropis atau subtropis yang sering terjadi pelapukan yang menghasilkan endapan.



Gambar 2.3 Tanah Lempung *Montmorilonite* (Budyanto *et al.*, 2008)

Tanah liat mengalami perubahan multi-tahap selama pembakaran; baik untuk tanah liat sekunder maupun primer, perubahan pertama yang terjadi adalah hilangnya kandungan air bebas. Khusus untuk tanah liat sekunder, akan dilibatkan zat organik lainnya. Selama transformasi selanjutnya, kandungan kimia air menghilang, dan tanah liat primer dan sekunder mengandung silika bebas dalam bentuk pasir, kuarsa, batu api dan kristal. Kandungan silika dalam tanah liat dapat bervariasi sesuai dengan volume tanah liat pada suhu tertentu. Beberapa perubahan sifat tetap (konversi) dan perubahan kembali (inversi) (Achmat, S and Wisnumurti, 2016).

Agar tanah lempung dapat berubah menjadi keramik harus melalui proses pembakaran dengan suhu melebihi 600°C. Setelah melalui suhu tersebut tanah lempung akan mengalami perubahan menjadi mineral padat, keras dan permanen, perubahan pada kondisi ini disebut *ceramic change*. Tanah lempung yang dibakar kurang dari 600°C belum mengalami kematangan secara tepat walaupun mengalami perubahan, kematangan tanah lempung ini juga disebut dengan vitrifikasi. Vitrifikasi adalah keadaan dimana keramik telah mencapai suhu pematangan yang tepat tanpa berubah bentuk. Tanah lempung menurut jenisnya dibagi menjadi dua jenis yaitu (Abidin, 2011):

a. Tanah lempung primer

Lempung primer merupakan jenis lempung yang terbentuk akibat pelapukan batuan feldspatik oleh gaya endogen yang tidak menggerakkan batuan induk, sehingga sifatnya lebih murni dibandingkan lempung sekunder. Ciri-ciri tanah liat primer antara lain: berwarna putih sampai kusam, berbutir cenderung kasar, tidak lentur, mempunyai

kapasitas lebur tinggi, susut rendah dan tahan api. Suhu matang bila dibakar berkisar antara 1300°C-1400°C, bahkan ada yang mencapai 1750°C, adapun yang termasuk tanah primer antara lain: kaolin, bentonit, feldspatik, kwarsa dan dolomite. Letak mineral tersebut sering ditemukan pada tempat yang lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi tanah sekunder. Secara umum batuan keras basalt dan adesit akan menghasilkan tanah lempung merah sedangkan granit akan menghasilkan tanah lempung putih. Mineral kwarsa dan alumina dapat digolongkan sebagai jenis tanah lempung primer karena merupakan hasil samping pelapukan batuan feldspatik yang menghasilkan tanah lempung kaolinit yang dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Tanah Lempung Sekunder (Budiyanto *et al.*, 2008)

b. Tanah lempung sekunder

Lempung sekunder tidak jauh berbeda dengan lempung primer. Lempung sekunder merupakan jenis tanah akibat pelapukan feldspatik yang menjauhi batuan induk karena tenaga eksogen yang menyebabkan sedimentasi dan pengendapan partikel tanah, jenis tanah liat ini banyak ditemukan di lembah sungai, lembah berawa, dan danau. Ciri-ciri tanah

liat sekunder antara lain: kurang murni, cenderung berbutir halus, lentur, berwarna krem, abu-abu, coklat, merah jambu, kuning, kuning muda, kuning kecoklatan, kemerahan atau kehitaman serta mempunyai penyusutan yang tinggi. Suhu pematangan tanah liat sekunder adalah dari 900°C hingga 1400°C. Secara umum, lempung sekunder lebih plastis dan mempunyai potensi penyusutan yang lebih tinggi. Semakin tinggi suhu pembakaran maka kekerasan semakin meningkat dan porositas semakin menurun, sehingga keramik yang dihasilkan kedap air yang dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Tanah Lempung Primer (Budiyanto *et al.*, 2008)

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 (Bintang, Setyanto and Adha, 2012):

- 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

2.2 Silikon Karbida (SiC)

Silikon Karbida (SiC), juga dikenal sebagai karborundum adalah komposisi kimia dari silikon dan karbon dengan rumus kimia adalah SiC. Silikon karbida merupakan bahan keramik non-oksidasi dengan sifat fisik dan kimia yang baik seperti kekerasan tinggi, titik leleh, suhu dekomposisi dan konduktivitas termal. Selain berperan sebagai material keramik, silikon karbida juga dapat berperan sebagai material penguat semikonduktor dan komposit. (Sulaeman, Arjo and Maddu, 2019).

Silikon karbida memiliki banyak kegunaan, dan kekerasan serta ketahanan panasnya yang tinggi menyebabkan aplikasi sebagai bahan abrasif pada peralatan

dan amplas (*silicon carbide paper*). Silikon karbida juga dapat digunakan sebagai bahan tahan panas karena konduktivitas termalnya yang tinggi, suhu dekomposisi, dan ketahanan terhadap bahan kimia. Bubuk silikon karbida, diproduksi secara massal sejak tahun 1893, digunakan sebagai bahan abrasif. Partikel silikon karbida terikat dengan baik melalui sintering untuk menghasilkan keramik yang sangat keras, banyak digunakan untuk aplikasi yang memerlukan tingkat ketahanan yang tinggi, seperti rem mobil dan lempengan keramik pada rompi anti peluru. Sekarang silikon karbida digunakan secara luas pada semi konduktor temperatur tinggi. Sifat dari silikon karbida meliputi sifat fisik, mekanik dan panas dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik dan Thermal Silikon karbida (Zamheri, 2011).

Sifat Fisik	Satuan SI	Nilai
Densitas	g/cm ³	3,15
Berat atom	g/mol	40,1
Warna	-	Hitam
Struktur kristal	-	Hexagonal
Titik lebur	°C	2700
Titik didih	°C	2972
Sifat mekanik	Satuan SI	Nilai
Modulus elastisitas	Gpa	410
Rasio Poisson	-	0,14
Kekerasan	VHN	3500
Kekuatan luluh	Mpa	450
Ketangguhan	MPa √m	4,5
Sifat termal	Satuan SI	Nilai
Konduktivitas panas	W/m.K	4,0
Koefisien ekspansi thermal	10 ⁻⁶ / °C	750
Kapasitas panas	J/kg.K	628

Beberapa bubuk silikon karbida berwarna hitam tergantung bahan baku yang digunakan. Karena kekerasannya yang tinggi dan konduktivitas termal yang baik, silikon karbida sering digunakan sebagai bahan abrasif, refraktori, komponen otomotif, dirgantara, dan industri pertahanan. Dalam produksi komposit matriks aluminium, silikon karbida adalah penguat diskontinyu yang paling umum digunakan untuk komposit matriks logam. Keuntungan penggunaan SiC sebagai partikel penguat adalah efektif dalam meningkatkan kekuatan, kekakuan, konduktivitas termal, ketahanan aus, ketahanan lelah, dan menurunkan ekspansi termal (Suyanto, Sulardjaka and Sri, 2014). Silikon karbida bisa digunakan pada pembuatan krusibel karena memiliki karakteristik penahan oksidasi yang baik, densitas rendah, titik lebur yang tinggi, konduktivitas termal yang tinggi, kelembaman kimia tinggi, stabilitas kimia, kemampuan menyerap gelombang mikro yang baik, dan kekuatan mekaniknya yang tinggi (Xu *et al.*, 2021).

2.3 Grafit

Grafit merupakan salah satu mineral varian unsur karbon yang penting dalam dunia industri karena mempunyai banyak kegunaan, termasuk pada sejumlah teknologi baru dan berkembang (Ailin *et al.*, 2017). Grafit adalah mineral yang tersusun dari unsur karbon selain mineral intan. Grafit mineral alami memiliki tiga tipe dasar yaitu serpihan, urat dan amorf. Semuanya memiliki struktur kristal, meskipun grafit amorf adalah bahan karbon dengan tingkat keteraturan yang sangat rendah dalam struktur mikrokristalannya. Grafit memiliki kekerasan yang rendah, tidak terbakar dan mudah larut dalam logam cair, tahan

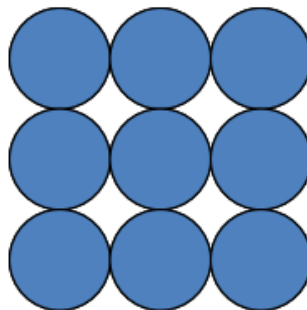
panas dan merupakan konduktor panas yang baik. Grafit mempunyai koefisien gesek yang rendah, bahan ini dapat digunakan sebagai pelumas padat atau *solid lubrication*. Grafit adalah bentuk kristal karbon yang lembut dan rapuh, dengan kekerasan 1 Hb.

Grafit secara alami berwarna hitam dengan konfigurasi elektronik karbon pada keadaan dasarnya, merupakan bentuk karbon isotropik, grafit mempunyai struktur kristal heksagonal. Dasar dari struktur kristal grafit adalah bidang graphene atau lapisan karbon. Struktur kristal grafit juga bisa berbentuk rhombohedral, struktur ini dapat ditingkatkan dengan memberikan deformasi dan dikurangi dengan perlakuan panas. Struktur ini dapat ditingkatkan dengan deformasi dan dikurangi dengan perlakuan panas. Grafit berstruktur heksagonal lebih stabil dibandingkan struktur rhombohedral dengan karakteristik densitas sebesar 2,26 g/cm³. Grafit memiliki struktur kisi dimana kristal C60 merupakan molekul padat yang setiap molekulnya dihubungkan oleh ikatan Van Der Waals berikut karakteristik yang dimiliki grafit seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Grafit (Gupta, 2016)

Sifat Fisik	Nilai
Bulk density (g/cm ³)	1,3–1,95
Porosity (%)	0,7–53
Sifat Mekanik	Nilai
Modulus elastisitas (GPa)	8–15
Kuat Tekan (MPa)	20–200
<i>Flexual Strenght</i> (MPa)	6,9–100
Sifat Termal	Nilai
<i>Coefficient of thermal expansion</i> ($\times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$)	1,2–8,2
<i>Thermal Conductivity</i> (W/mK)	25–470
<i>Specific heat capacity</i> (J/kgK)	710–830
<i>Electrical Resistivity</i> (Ωm)	$5 \times 10^{-6} - 30 \times 10^{-6}$

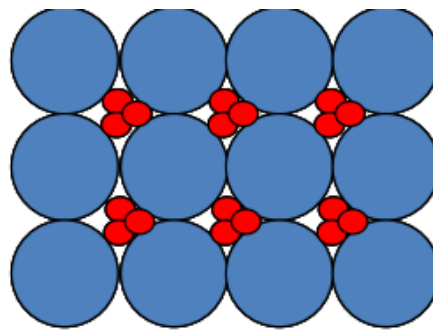
Pada grafit terjadi anisotropi sesuai dengan nilai modulus Young, dimana komponen yang tegak lurus bidang alas akan mempunyai nilai yang lebih rendah dibandingkan komponen yang sejajar bidang alas. Hal ini juga menyebabkan adanya sifat anisotropik pada konduktivitas termal. Hal tersebut karena ikatan bidang paralel hanya dihubungkan oleh gaya Van Der Waals yang relatif lemah. (Hardiyanti *et al.*, 2016). Grafit juga banyak digunakan dalam komponen pembuatan material komposit baru, pigmen dan agen cetakan di bidang manufaktur kaca. Berdasarkan dari penelitian telah dilakukan oleh abdullah dkk, mereka melakukan penelitian pembuatan keramik dengan penambahan variasi grafit dapat disimpulkan tanpa grafit, ruang antar partikel tanah lempung berupa ruang kosong seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Ilustrasi Partikel Tanah Lempung Tanpa Penambahan Grafit
(Abdullah, Sonya, Nuryadi, *et al.*, 2009)

Kekuatan keramik bertambah seiring dengan bertambahnya kandungan grafit. Akibatnya muncul ikatan-ikatan baru yang bekerja pada partikel-partikel tanah liat, khususnya ikatan antar partikel tanah liat dan ikatan antara partikel tanah liat dengan partikel karbon. Jika lebih banyak karbon yang ditambahkan,

lebih banyak ikatan yang terbentuk antara partikel tanah liat dan partikel karbon, sehingga meningkatkan daya tahan keramik seperti pada Gambar 2.7. Namun kekuatan keramik berkurang dengan seiring penambahan grafit lebih lanjut. Karena ketika karbon diperbanyak lagi maka mulai muncul ikatan antar karbon itu sendiri (Abdullah, Sonya, Nuryadi, *et al.*, 2009).

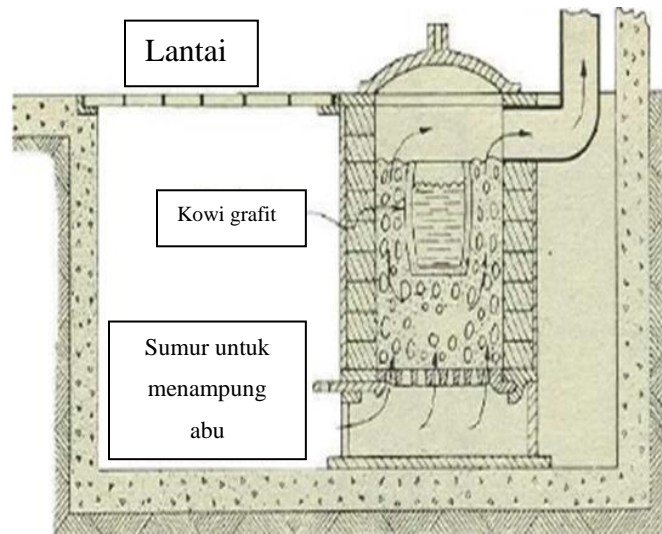


Gambar 2.7 Ilustrasi Partikel Grafit dapat mengisi Ruang kosong
(Abdullah, Sonya, Nuryadi, *et al.*, 2009)

2.4 Krusibel

Krusibel adalah wadah yang berbentuk pot atau mangkok yang diameter krus atau bawahnya lebih kecil dari diameter atasnya, krusibel diperlukan untuk melelehkan bahan hingga suhu lelehnya. Krusibel yang baik memiliki kekerasan, kemampuan cepat meleleh dan mempunyai ketahanan panas yang tinggi (Krismanto *et al.*, 2020). Dapur krusibel merupakan jenis tungku tertua yang digunakan untuk melebur baja, wadahnya terbuat dari bahan grafit dan campuran tanah lempung. Krusibel rapuh dalam kondisi normal tetapi memiliki kekuatan yang cukup saat dipanaskan. dapat dipanaskan dengan kokas, minyak, dan gas alam, kapasitas krusibel beragam ukuran ± 50 kg (Rizal, Andre and Syaefani,

2019). Dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Dapur Krusibel (Rizal, Andre and Syaefani, 2019)

Pada umumnya peleburan logam khususnya logam non-ferrous seperti aluminium, tembaga, dan timah hitam menggunakan krusibel yang membutuhkan panas yang tidak begitu tinggi. seringkali terbuat dari grafit dan tanah liat, ada juga yang menggunakan batu bata api (Sari *et al.*, 2017). Krusibel dibuat dari berbagai macam bahan, misalnya ada yang terbuat dari grafit, tanah liat, besi tuang atau baja hingga silikon karbida.

Bahan tahan api untuk produksi krusibel harus mempunyai karakteristik yaitu mampu menahan suhu yang tinggi, tahan terhadap perubahan suhu yang tiba-tiba (*thermal shock*), tidak terpengaruh oleh sifat kimia bahan cair, tidak mengkontaminasi bahan pada saat kontak serta memiliki koefisien panas yang rendah sehingga dapat menghemat panas. Krusibel grafit banyak digunakan karena tahan terhadap suhu tinggi dan tidak terjadi reaksi antara cairan cair dengan bahan wadah. 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*.

2.5 Keramik

Istilah keramik berasal dari kata Yunani “keramos” yang berarti suatu benda yang terbuat dari tanah liat yang telah melalui proses pemasakan. Keramik diartikan sebagai seni atau teknologi pembuatan benda dari tanah liat yang dibakar. Saat ini proses pembuatan keramik berkembang tidak hanya dari tanah liat saja. Keramik mempunyai sifat-sifat yang baik seperti daya tahan, kekerasan, kestabilan pada suhu tinggi dan tidak menimbulkan korosi. (Siagian and Martha, 2012). Berdasarkan fungsinya, keramik dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

- a. Keramik tradisional, khususnya keramik, banyak digunakan untuk produk sederhana, seperti bahan abrasif tahan api, gelas, porselen, dan bahan konstruksi seperti beton, lantai dan lain-lain..
- b. Keramik modern, menggunakan teknologi atau alat teknis canggih. Keramik modern memiliki sifat listrik, mekanik dan termal yang baik, sehingga digunakan untuk teknologi maju.

Keramik memiliki sifat yang memungkinkannya digunakan dalam berbagai aplikasi seperti ketahanan panas yang baik, konduktivitas termal rendah, ketahanan korosi, kekerasan, daya tahan namun sedikit rapuh. Selain sifat-sifat

tersebut, keramik juga memiliki sifat kelistrikan antara lain isolator, semikonduktor, konduktor, superkonduktor, bahan magnet dan non magnet. Sifat bahan keramik ini sangat bergantung pada ikatan kimianya. Ikatan kovalen memberikan sifat yang dapat berkontribusi pada kekuatan kristal, dan strukturnya lebih kompleks dibandingkan ikatan logam atau ionik. Ikatan kovalennya sangat kuat, sehingga kristalnya kuat, memiliki titik didih yang tinggi dan sifat isolator yang baik.

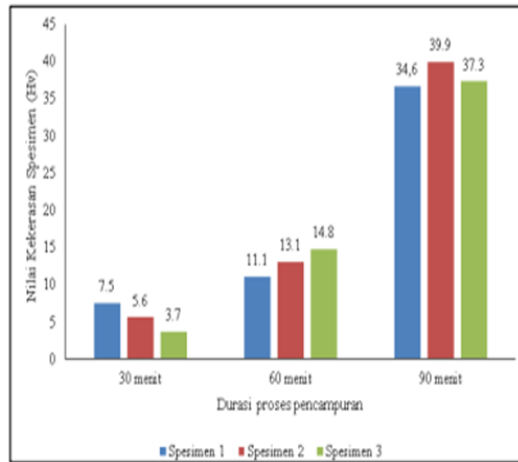
2.6 Pengadukan

Pengadukan adalah proses pencampuran satu atau lebih bahan dengan menambahkan bahan yang satu ke bahan yang lain untuk menciptakan bentuk seragam dari beberapa bahan dalam bentuk cair-padat, padat-padat, atau gas-cair-gas (Rusiyanto *et al.*, 2022). Pengadukan dimaksudkan untuk memberikan kesempatan pada partikel untuk menembus matriks hingga mengendap dan memperoleh distribusi partikel yang merata (Hadi, 2018). Sedangkan mixer merupakan suatu alat mekanis yang digunakan untuk mengaduk. Mixer ada 2 jenis tergantung jumlah *propeller* (turbin), yaitu *mixer* dengan satu *propeller* dan *mixer* dengan dua *propeller*. Mixer dengan satu *propeller* adalah mixer yang biasa digunakan untuk cairan dengan viskositas rendah. Mixer dengan dua *propeller* sering digunakan untuk cairan dengan viskositas tinggi. Pengadukan adalah operasi yang bertujuan untuk mengurangi perbedaan kondisi, suhu atau sifat lain yang ada pada suatu material. Pengadukan dapat terjadi dengan menimbulkan gerakan pada bahan yang diaduk dan menyebabkan bagian-bagian bahan saling mendekat, sehingga pengadukan hanyalah salah satu cara dalam melakukan

operasi pencampuran. Parameter proses homogenisasi seperti jenis, kecepatan pengadukan, waktu pengadukan atau suhu, dapat mempengaruhi nilai kuat tekan suatu bahan. Semakin lama waktu pengadukan maka semakin banyak pula air yang dapat diserap partikelnya. (Fládr and Bilý, 2017). Khususnya dalam proses pembuatan krusibel Secara khusus, proses pengadukan dan pencampuran digunakan untuk menyelesaikan tiga jenis masalah utama, yaitu (Hadi, 2018):

- a. Memfasilitasi perpindahan massa atau energi antar bagian sistem yang tidak seragam.
- b. Untuk menciptakan keseragaman statis atau dinamis dalam sistem multifasa dan multikomponen.
- c. Untuk menunjukkan perubahan fasa dalam sistem multikomponen dengan atau tanpa perubahan komposisi.

Menurut jurnal (Triyanto *et al.*, 2021) mengatakan bahwa penelitian dengan variasi waktu pecampuran atau pengadukan 30 menit, 60 menit dan 90 menit sehingga menghasilkan nilai porositas yang rendah dikarenakan waktu pencampuran atau *mixing time* dilakukan semakin lama waktunya, dapat membuat material tercampur secara homogen. Hal tersebut semakin kecil porositas mengakibatkan densitas dari material meningkat dan kekerasan sampel meningkat. Gambar hasil dapat dilihat pada Gambar 2.9.

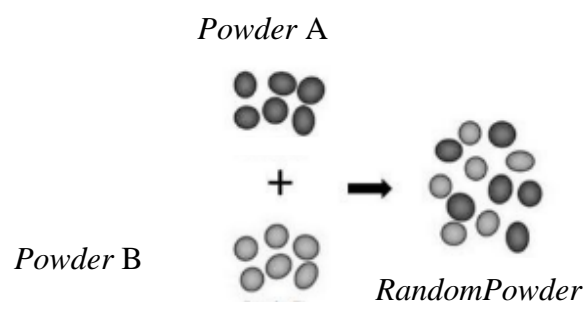


Gambar 2.9 Variasi Waktu Pencampuran (Triyanto *et al.*, 2021)

Pada pembuatan krusibel, proses pengadukan dilakukan pada bahan baku yang sudah diolah menjadi serbuk. Pada proses pengadukannya diklasifikasikan menjadi dua yaitu (Rusiyanto *et al.*, 2022):

a. *Random mixing*

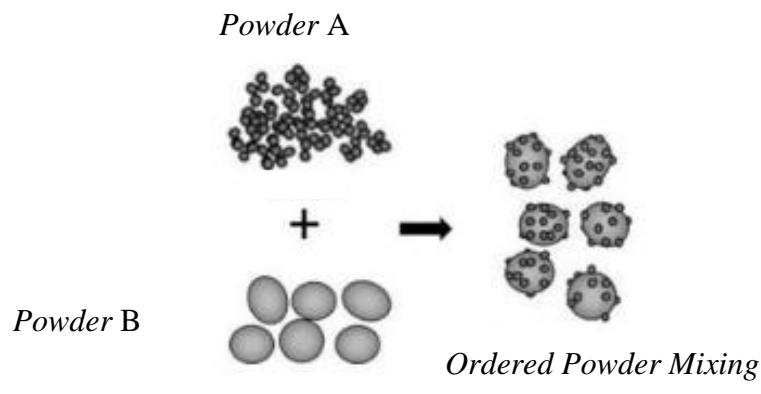
Random mixing adalah proses membagi dan menggabungkan kembali lapisan setiap partikel secara berulang-ulang hingga berada pada titik tertentu dalam campuran pada suatu waktu. seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Random Mixing* (Rusiyanto *et al.*, 2022)

b. *Ordered mixing*

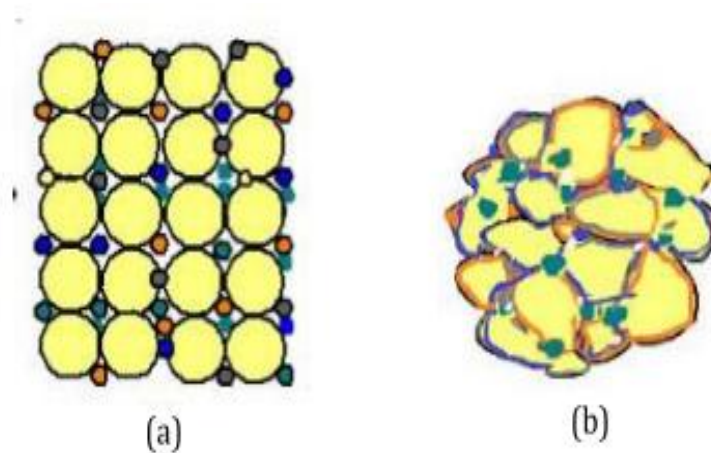
Pada proses *Ordered mixing* partikel halus cenderung mengisi dan menempel pada permukaan partikel halus untuk mengisi dan menempel pada permukaan partikel kasar selama pencampuran. Proses ini menciptakan sistem yang lebih konsisten dan stabil seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Ordered Mixing* (Rusiyanto *et al.*, 2022)

Peningkatan kecepatan dan suhu selama pencampuran membantu campuran menjadi lebih cepat homogen, sehingga proses pencampuran menjadi lebih efisien dan efektif. Pada saat yang sama, semakin lama waktu pengadukan akan berakibat pada peningkatan *tensile*, *flexural* dan *impact strength* pada material keramik. Hal ini terjadi karena *filler* didistribusikan secara merata pada matrik. Selain itu, bertambahnya waktu pencampuran akan membantu meningkatkan kualitas multi-componen granular *mixtures*, sehingga kualitas produk yang dihasilkan juga akan lebih baik dengan banyaknya pori-pori yang tertutup bahan dengan ukuran partikel yang lebih kecil, oleh sebab itu, sintering dilakukan agar lebih efisien.

Peningkatan kecepatan dan waktu pengadukan akan meningkatkan sifat mekanik dan fisik pada material keramik selain itu, peningkatan waktu pengadukan akan menghasilkan kualitas campuran granular *mixtures* yang semakin baik., sehingga meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. (Rusiyanto *et al.*, 2022). Seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Proses (a) *Mixing* dan Kompaksi (b) Sintering (Rusiyanto *et al.*, 2022)

2.7 *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Pada tahun 1894, dimana sebelum ditemukannya sinar-X proses karakterisasi bahan material menggunakan metode tradisional yaitu dengan menggunakan metode cahaya tampak dengan menggunakan mata. seiring waktu metode ini berkembang dengan cahaya terpolarisasi untuk melihat efek pada kristal. Pada teknologi modern sinar-X seperti difraksi sinar-X, difraksi elektron, mikroskop elektron, difraksi neutron. *X-Ray Fluorescence* merupakan salah satu alat yang digunakan untuk menganalisa unsur yang terkandung pada suatu bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menghasilkan informasi

tentang unsur-unsur yang ada dalam suatu bahan yang diwakili oleh spektrum unsur-unsur dalam sinar-X, sedangkan analisis kuantitatif menghasilkan informasi tentang jumlah unsur-unsur yang ada dalam suatu bahan yang diwakili oleh sama dengan tinggi puncak spektral. . Analisis XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan segmentasi sinar-X yang dihasilkan oleh peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron target terkena cahaya berenergi tinggi. (Jamaludin and Adiantoro, 2012). Gambar alat XRF bisa dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Spektrometer XRF (Jamaludin and Adiantoro, 2012)

2.8 Pengujian Susut Bakar

Susut bakar adalah perubahan dimensi atau volume bahan yang telah dibakar. Salah satu parameter yang menunjukkan terjadinya proses sintering adalah penyusutan akibat adanya perubahan struktur mikro (butir atau batas butir) (Huda and Hastuti, 2012). Penyusutan terjadi karena penguapan air pada bodi

keramik secara bebas, dan juga terjadi reaksi kimia dan fisika tanah liat yang menjadikan perubahan keramik secara permanen, setelah melewati fase pembakaran tanah lempung menjadi tahan terhadap air dan keras. Ukurannya pun menyusut dibandingkan saat sebelum dibakar (Nurrohman, 2017). Nilai volume susut bakar dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Effendi, 2010):

$$\% \text{ Susut volume} = \frac{(V_0 - V_1)}{V_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

S = persentase susut volume

V_0 = volume sebelum disintering (cm^3)

V_1 = volume sesudah disintering (cm^3)

2.9 Pengujian Porositas

Karakterisasi krusibel dilakukan dengan pengujian porositas. Pengujian porositas dilakukan dengan cara merendamnya ke dalam air. Porositas dianggap sebagai volume ruang bebas yang dinyatakan sebagai jumlah massa atau volume air yang diserap ke dalam bahan keramik. Pengukuran porositas keramik dilakukan dengan teknik perendaman dan persentase porositas. (Ridayani, Malino and Asri, 2017). Porositas merupakan volume pori-pori yang terbuka, dinyatakan sebagai persentase dari total volume refraktori. Properti ini penting ketika refraktori bersentuhan dengan terak cair dan bahan pengisi. Porositas yang rendah mencegah lelehan material menembus refraktori, Pengujian porositas yang dilakukan berdasarkan metode Archimedes (Septriana, Azhar and Astuti, 2017). Pengujian porositas yang dilakukan mengacu pada standar pengujian ASTM C

20-00. Nilai porositas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (ASTM C20-00, 2015):

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

$$P = \frac{(W - D)}{V} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

$P = \text{porosity (\%)}$

$D = \text{Berat kering (gram)}$

$W = \text{Berat Kering Permukaan (gram)}$

$S = \text{Berat Dalam Air (gram)}$

$V = \text{Exterior volume (cm}^3\text{)}$

2.10 Pengujian Kuat Tekan

Destructive test merupakan pengujian yang dilakukan terhadap suatu material atau sampel 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, dalam pengujian ini dibutuhkan sampel uji (sampel uji adalah duplikat dari benda kerja yang berasal dari bahan yang sama). Pengujian destruktif dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik suatu bahan, dimana pengujian tersebut melibatkan pembebanan secara mekanis hingga sampel

mengalami perubahan bentuk atau deformasi plastis (merusak bentuk sampel dari bentuk awal) (Hidayat, 2019). Salah satu jenis pengujian merusak yaitu uji tekan.

Pengujian tekan adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara menerapkan beban gaya aksial. digunakan untuk mengukur ketahanan material terhadap gaya statis yang diterapkan secara perlahan. Kuat tekan dapat diukur dengan menghubungkannya dengan kurva tegangan-regangan dari data yang diperoleh dari mesin uji. Beberapa bahan akan patah pada batas tekannya, beberapa mengalami deformasi secara permanen. Deformasi tertentu dapat dianggap sebagai batas kekuatan tekan, meski belum patah, terutama pada bahan yang tidak dapat kembali ke kondisi semula (*irreversible*) (Bisioni, Hamzah and Sam, 2019). Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan SNI 1974:2011, untuk hasil dari pengujian tekan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (SNI 1974:2011, 2011):

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

P = gaya tekan aksial (N)

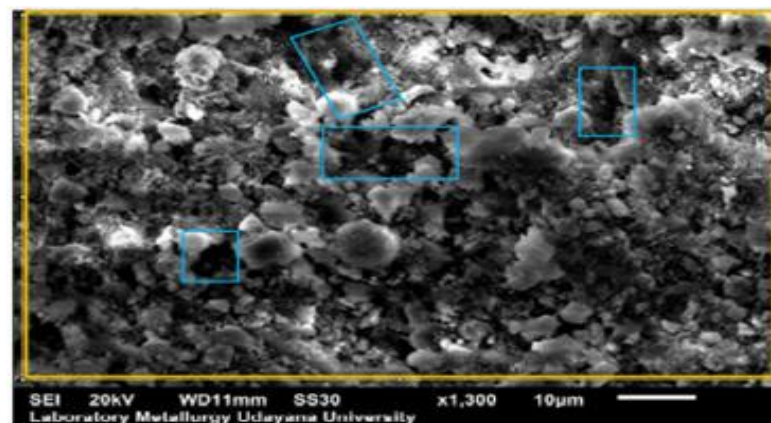
A = luas penampang (mm²)

2.11 Scanning Electron Microscopy (SEM)

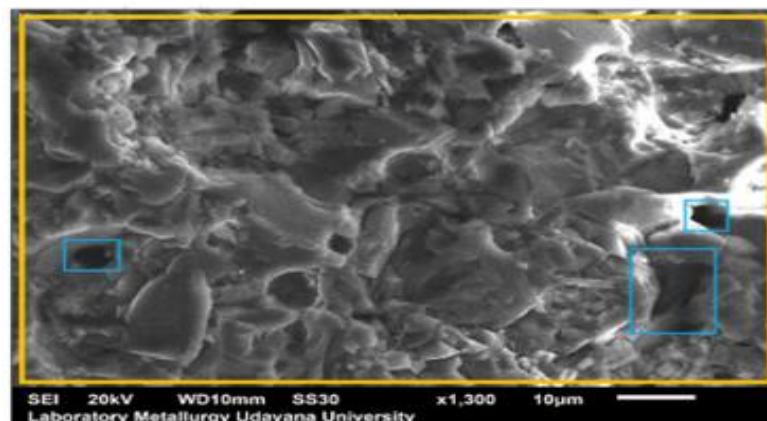
SEM jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar kontur permukaan suatu benda. Prinsip operasi SEM adalah menembakkan berkas elektron berenergi tinggi ke permukaan benda. Permukaan

benda yang terkena pancaran sinar akan memantulkan sinar atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Menurut jurnal (Tussniari, Adnyana and Cingah, 2018) mengatakan bahwa hasil penelitian karakterisasi porositas pada *body* keramik *stoneware* berbasis lempung Kalimantan dengan variable pembakaran pada suhu 900°C, 1200°C mendapatkan hasil pori-pori dengan ditandai persegi empat berwarna biru dimana nilai porositas untuk suhu 900°C lebih besar dan suhu 1200°C menghasilkan plat-plat butiran yang besar dan rapat.

Gambar hasil dapat dilihat pada Gambar 2.15.



(a)



Gambar 2.14 Hasil pengukuran SEM sampel di sinter: (a). pada suhu 900°C (b). pada suhu 1200°C (Tussniari et al., 2018).

Menurut jurnal lain dalam hasil SEM dari penelitian 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 (Subiyanto and Subowo, 2003).