

Cek Plagiasi Skripsi

by Rayhand Yahdyana

Submission date: 25-Oct-2023 03:57AM (UTC+0300)

Submission ID: 2206354813

File name: Rayhand_Yahdyana_3334170097_Fulltext..pdf (2.37M)

Word count: 13241

Character count: 84490

**PENGARUH KOMPOSISI GRAFIT DAN WAKTU
PENGADUKAN TERHADAP NILAI KUAT
TEKAN DAN STRUKTUR MIKRO
KRUSIBEL BERBAHAN DASAR
TANAH LEMPUNG**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Rayhand Yahdyana
3334170097

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH KOMPOSISI GRAFIT DAN WAKTU
PENGADUKAN TERHADAP NILAI KUAT
TEKAN DAN STRUKTUR MIKRO
KRUSIBEL BERBAHAN DASAR
TANAH LEMPUNG**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Suryana, S.T., M.Si
Nip. 197402162001121001

Pembimbing II



Yeni Murlani Zulaida, ST., MT
Nip. 197401032005012001

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH KOMPOSISI GRAFIT DAN WAKTU
PENGADUKAN TERHADAP NILAI KUAT
TEKAN DAN STRUKTUR MIKRO
KRUSIBEL BERBAHAN DASAR
TANAH LEMPUNG
SKRIPSI**

Disusun dan diajukan oleh:

Rayhand Yahdyana

3334170097

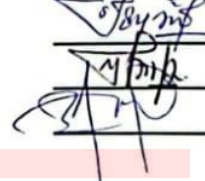
Telah disidangkan didepan dewan penguji pada tanggal

05 JULI 2023

Susunan Dewan Penguji

Penguji I : Suryana., ST., M.Si
Penguji II : Yeni Muriani Zulaida., ST., M.T
Penguji III : Muhammad Fitrullah., S.T., M.T

Tanda Tangan



Skrripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc
NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pengaruh Komposisi Grafit dan Waktu pengadukan terhadap Nilai Kuat Tekan dan Struktur Mikro Krusibel Berbahan Dasar Tanah Lempung
Nama Mahasiswa : Rayhand Yahdyana
NIM : 3334170097
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi di atas adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggung jawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar pernyataan ini.

Cilegon, 05 Juli 2023



Rayhand Yahdyana

NIM 3334170097

ABSTRAK

Krusibel adalah tempat yang berbentuk pot atau mangkuk dengan krus atau diameter di bawah lebih kecil dibanding diameter bagian atas. Krusibel diperlukan untuk melebur suatu material hingga suhu lebur material tersebut. Di Indonesia tanah Lempung sangat melimpah di beberapa daerah seperti Sumatera Utara, Jawa Barat, Sulawesi Utara dan sekitarnya. Oleh sebab itu tanah lempung dapat dimanfaatkan untuk pembuatan krusibel. Krusibel memiliki kekurangan yang sering terjadi diantaranya ketahanan retak dan bocor sebelum atau sesudah penggunaan. Maka dilakukan peningkatan sifat mekanik salah satunya dengan cara melakukan penambahan komposisi grafit dan SiC pada tanah lempung. Pada penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penambahan komposisi grafit dan variasi waktu pengadukan terhadap kuat tekan dan struktur mikro krusibel. Metode yang digunakan pada penelitian kali ini terdiri dari dua tahap yaitu tahap preparasi lempung dan tahap pembuatan sampel serta pengujian sampel krusibel. Hasil yang didapatkan pada penelitian dengan variasi penambahan komposisi grafit 20%, 30% dan 40 % dengan waktu pengadukan 30, 60 dan 90 menit didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada komposisi grafit 30% dengan waktu pengadukan 90 menit sebesar 16,56 MPa dan menghasilkan campuran yang homogen sehingga struktur mikro yang lebih padat dan membentuk lempeng-lempengan partikel lempung yang berwarna putih mengikat partikel grafit yang berwarna hitam.

Kata Kunci : Krusibel, *Tanah lempung*, Grafit, Waktu Pengadukan, SiC, Komposisi, Kuat Tekan


KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengaruh Komposisi Grafit dan Waktu Pengadukan Terhadap Nilai Kuat Tekan dan Struktur Mikro Krusibel Berbahan Dasar Tanah Lempung”. Selesaiannya Skripsi ini tidak lepas dari beberapa pihak yang telah membantu dalam proses pembuatannya sehingga Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Suryana, ST., M.Si., selaku Pembimbing I, Ibu Yeni Muriani Zulaida., ST., M.T. selaku Pembimbing II dan Bapak Muhammad Fitrullah., S.T., M.T., selaku Penguji III
2. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Kedua orang tua, keluarga, dan teman-teman yang selalu mendoakan, mendukung, membari saran dan nasihat hingga memberikan motivasi hingga selesai penulisan skripsi ini.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Harapan penulis semoga skripsi ini berguna sebagai acuan penelitian bagi penulis dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa maupun pihak-pihak lain yang memerlukannya sebagai bahan kajian dan studi maupun sumber referensi. Atas perhatiannya, penulis ucapkan terima kasih.

Cilegon, 05 Juli 2023



Rayhand Yahdyana

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tanah Lempung	6
2.2 Silikon Karbida (SiC).....	12
2.3 Grafit	14
2.4 Krusibel	17
2.5 Keramik	19
2.6 Pengadukan	20
2.7 <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	24
2.8 Pengujian Susut Bakar	25
2.9 Pengujian Porositas	26
2.10 Pengujian Kuat Tekan	27
2.11 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	28

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Alat dan Bahan	33
3.2.1 Alat yang Digunakan	33
3.2.2 Bahan yang Digunakan	34
3.3 Prosedur Penelitian.....	34
3.3.1 Preparasi Tanah Lempung	35
3.3.2 Proses <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	35
3.3.3 Proses Pembentukan sampel	36
3.3.4 Susut Bakar	39
3.3.5 Pengujian Porositas	40
3.3.6 Pengujian Kuat Tekan	41
3.3.7 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Karakterisasi Kandungan tanah lempung	43
4.1.1 Karakterisasi XRF	43
4.1.2 Analisa Hasil Pengujian Susut Bakar	44
4.2 Analisa Pengujian Porositas	46
4.3 Analisa Pengujian Kuat Tekan.....	49
4.4 Hubungan Antara Nilai Kuat Tekan dan Nilai Porositas	54
4.5 Analisa Hasil Pengujian SEM	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
Lampiran A Contoh Perhitungan	65
Lampiran B Data Hasil Penelitian	67
Lampiran C Gambar Alat dan Bahan	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Tanah Lempung Kaolinite (Budiyanto et al., 2008).....	7
Gambar 2.2 Tanah Lempung Illite (Budiyanto et al., 2008).....	8
Gambar 2.3 Tanah Lempung Montmorilonite (Budiyanto et al., 2008)	8
Gambar 2.4 Tanah Lempung Sekunder (Budiyanto et al., 2008)	10
Gambar 2.5 Tanah Lempung Primer (Budiyanto et al., 2008).....	11
Gambar 2.6 Ilustrasi Partikel Tanah Lempung Tanpa Penambahan Grafit (Abdullah, Sonya, Nuryadi, et al., 2009)	16
Gambar 2.7 Ilustrasi Partikel Grafit dapat mengisi Ruang kosong (Abdullah, Sonya, Nuryadi, et al., 2009).....	17
Gambar 2.8 Dapur Krusibel (Rizal, Andre and Syaefani, 2019)	18
Gambar 2.9 Variasi Waktu Pencampuran (Triyanto et al., 2021).....	22
Gambar 2.10 Random Mixing (Rusiyanto et al., 2022).....	22
Gambar 2.11 Ordered Mixing (Rusiyanto et al., 2022)	23
Gambar 2.12 Proses (a) Mixing dan Kompaksi (b) Sintering (Rusiyanto et al., 2022)	24
Gambar 2.13 Spektrometer XRF (Jamaludin and Adiantoro, 2012)	25
Gambar 2.14 Hasil pengukuran SEM sampel di sinter: (a). pada suhu 900°C (b). pada suhu 1200°C (Tusniari et al., 2018).	29
Gambar 3.1 Prosedur Preparasi Tanah Lempung	31
Gambar 3.2 Prosedur Pembentukan Sampel	33
Gambar 3.3 Alat Uji XRF	36
Gambar 3.4 Sketsa ukuran sampel	37
Gambar 3.5 Proses Pengeringan di udara Terbuka	38
Gambar 3.6 Proses Pemanasan 900°C	38
Gambar 3.7 Muffle Furnace	40
Gambar 3.8 Alat Uji Tekan.....	41

Gambar 4.1 Pengaruh Komposisi Grafit dan Waktu Pengadukan Terhadap Susut Bakar	45
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Komposisi Grafit Terhadap Porositas	47
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Porositas	49
Gambar 4.4 Pengaruh Komposisi Grafit Terhadap Kuat Tekan	51
Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Nilai Kuat Tekan.....	52
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Hasil Kuat Tekan	53
Gambar 4.7 Hubungan antara Nilai Kuat Tekan dan Porositas	54
Gambar 4.8 Struktur Mikro Sampel Pada Penambahan Komposisi Grafit dan waktu pengadukan (a) 20% Waktu pengadukan 90 menit (b) 30% Waktu Pengadukan 90 Mneit (c) 40% Waktu Pengadukan 90 menit	56
Gambar B.1 Hasil Pengujian SEM Komposisi Grafit 20% dengan waktu Pengadukan 90 menit	71
Gambar B.2 Hasil Pengujian SEM Komposisi Grafit 30% dengan waktu Pengadukan 90 menit	71
Gambar B.3 Hasil Pengujian SEM Komposisi Grafit 40% dengan waktu Pengadukan 90 menit	72
Gambar C.1 Alat Pelindung Diri.....	74
Gambar C.2 ayakan.....	74
Gambar C. 3 Alat Uji Kuat Tekan.	75
Gambar C.4 Alat Uji SEM	75
Gambar C.5 Alat Uji XRF.	76
Gambar C.6 Mixer	76
Gambar C.7 Centong.....	77
Gambar C.8 Cetakan	77
Gambar C.9 Ember.....	78
Gambar C.10 Gunting	78
Gambar C.11 Jangka Sorong.....	79
Gambar C.12 Kompor.....	79
Gambar C.13 Lebel	80
Gambar C.14 Muffle Furnace	80

Gambar C.15 Nampan.....	81
Gambar C. 16 Neraca Dital.....	81
Gambar C. 17 Oven.....	82
Gambar C.18 Penggaris.	82
Gambar C.19 Selang	83
Gambar C.20 Sendok	83
Gambar C. 21 Timbangan Gantung Digital.....	84
Gambar C.22 Tisu	84
Gambar C. 23 Wadah.....	85
Gambar C. 24 Air.....	86
Gambar C. 25 Grafit.....	86
Gambar C. 26 SiC.....	87
Gambar C. 27 Tanah Lempung.....	87
Gambar C. 28 Pelumas.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Sifat Mekanik dan Thermal Silikon karbida (Zamheri, 2011).....	13
Tabel 2.2 Karakteristik Grafit (Gupta, 2016).....	15
Tabel 4.1 Karakterisasi XRF pada Tanah Lempung	43
Tabel 4.2 Data Hasil Susut Bakar	44
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Porositas	47
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan	50
Tabel B. 1 Data Hasil XRF Tanah lempung	68
Tabel B. 2 Hasil Pengujian Susut Bakar	68
Tabel B. 3 Data Hasil Pengujian Pororsitas	69
Tabel B.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pengecoran logam khususnya alumunium berkembang dengan pesat hal ini karena penggunaannya yang cukup luas dalam berbagai aspek diantaranya komponen otomotif, pesawat terbang bahkan sebagai peralatan rumah tangga (Aminur *et al.*, 2020). Dalam dunia industri pengecoran sudah banyak media atau alat yang digunakan dalam proses peleburannya, salah satunya yaitu tungku sebagai alat utama peleburan pada pengecoran logam dan non logam. Penggunaan tungku krusibel merupakan salah satu jenis tungku yang digunakan untuk peleburan logam. Sampai saat ini kebanyakan tungku krusibel yang digunakan oleh *home* industri dan lembaga pendidikan merupakan bahan impor dan harga yang relatif mahal. Sehingga berdampak pada besarnya investasi yang dibutuhkan bagi palaku usaha (Aminur *et al.*, 2020).

⁴ Krusibel adalah tempat yang berbentuk pot atau mangkuk dengan krus atau diameter di bawah lebih kecil dibandingkan diameter bagian atas. Krusibel diperlukan untuk melebur suatu material hingga suhu lebur material tersebut. Krusibel yang baik memiliki daya lebur yang cepat dan ketahanan panas yang tinggi. Krusibel yang biasa digunakan secara umum yaitu krusibel yang mengandung grafit. Krusibel biasanya terbuat dari bahan grafit dan tanah lempung (Sari *et al.*, 2017). Di Indonesia tanah Lempung sangat melimpah di beberapa daerah seperti Sumatera Utara, Jawa Barat, Sulawesi Utara dan

sekitarnya (Wulan Sari, Muhsin and Wijayanti, 2018). Salah satunya di daerah Desa Sukajaya, Kecamatan Jonggol Kabupaten Bogor terdapat cadangan tanah lempung dengan luas tanah 22000 m² dalam satu wilayah. Akan tetapi tanah lempung di daerah tersebut setelah dilakukan percobaan pembakaran tanpa penambahan apapun didapatkan cacat berupa retak. Oleh karena itu, perlu adanya bahan penguat (*Reinforcement*) untuk meningkatkan sifat mekanik pada krusibel. Penambahan tersebut dilakukan untuk mengurangi kerusakan yang terjadi, seperti ketahanan retak dan bocor sebelum atau sesudah penggunaan. Terdapat faktor yang menyebabkan hal tersebut antara lain porositas pada krusibel, tekanan kompaksi pada krusibel, komposisi bahan pembuatan, suhu pemanasan pembuatan krusibel, *holding time*, dan *thermal shock conductivity* (Krisyanto *et al.*, 2020). Pada proses pembuatan krusibel proses pengadukan perlu dilakukan agar penyebaran material penguat menyebar secara merata, agar ikatan antar material sempurna dan menghindari pengelompokan. Sehingga dilakukan analisa waktu pengadukan karena meningkatnya durasi menyebabkan material penguat semakin merata (Rusiyanto *et al.*, 2022).

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rahmawati dan Sunarsi yang menganalisa efek penambahan komposisi grafit pada batu bata dengan variasi 10%, 20%, 30%. Diperoleh data nilai kuat tekan yang meningkat seiring variasi penambahan grafit menaikkan kuat tekan, namun setelah melewati batas optimum akan menurunkan kuat tekan dengan nilai masing-masing kuat tekan yaitu 3,87MPa, 5,53MPa, 3,97MPa (Rahmawati and Sunarsih, 2015). Pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Rahmah yang menganalisa lama waktu

pengadukan komposit gelatin hidroksipatit dengan variasi waktu pengadukan 1 jam, 2 jam dan 3 jam mengungkapkan bahwa semakin lama waktu pengadukan maka penggabungan antar partikel material menjadi semakin efektif sehingga menghasilkan kekuatan material yang meningkat (Rahmah, Hikmawati and Siswanto, 2015).

Oleh sebab itu pada penelitian kali ini dilakukan pembuatan sampel krusibel dengan bahan dasar tanah lempung. Parameter yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu memvariasikan komposisi grafit sebesar 20%, 30%, 40% dan waktu pengadukan 30 menit, 60 menit, 90 menit. sehingga diharapkan dapat meningkatkan kekuatan pada krusibel dan membuat krusibel dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi komposisi grafit dan variasi waktu pengadukan terhadap nilai kuat tekan dan struktur mikro tanah lempung untuk bahan dasar pembuatan krusibel.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan secara umum penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan tanah lempung yang berasal dari Sukajaya Kabupaten Bogor yang nantinya dapat diaplikasikan sebagai bahan dasar pembuatan krusibel. Adapun secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisa pengaruh komposisi grafit terhadap nilai kuat tekan dan struktur mikro krusibel
2. Menganalisa pengaruh waktu pengadukan terhadap nilai kuat tekan dan struktur mikro krusibel

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup yang digunakan sebagai batasan-batasan penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Tanah lempung yang digunakan berasal dari daerah Sukajaya, Kabupaten Bogor, Jawa barat.
2. Grafit dan *Silicone Carbide* (SiC) yang digunakan berasal dari toko kimia Chempo, Jakarta.
3. Komposisi tanah lempung, grafit, dan *Silicone Carbide* (SiC) pada penelitian ini bervariasi dengan masing-masing masing berat yaitu: sampel pertama, 70% *Tanah lempung*, 20% Grafit, dan 10% SiC. Sampel kedua 60% *Tanah lempung*, 30% Grafit, dan 10% SiC. Sampel ketiga, 50% *Tanah lempung*, 40% Grafit, dan 10% SiC.
4. Waktu pengadukan pada penelitian ini bervariasi yaitu: 30 menit, 60 menit, 90 menit dengan menggunakan *mixer cosmos* CM1-289 yang berasal dari toko Sinar Agung *Electric*, Kab. Bekasi.
5. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi II, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
6. Karakterisasi XRF dilakukan di PT Multi Hanna Kreasindo. Bekasi,

Jawa Barat.

7. Pengujian susut bakar dilakukan di laboratorium Teknik Metalurgi II Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Banten.
8. Pengujian porositas dilakukan di laboratorium Teknik Metalurgi II Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Banten.
9. Pengujian kekuatan tekan dilakukan di Laboratorium PT Wijaya Karya (Persero) Tbk, Depok.
10. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* dilakukan di Laboratorium Teknolab, Bekasi, Jawa Barat

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian skripsi ini terdiri atas lima bab. Bab I menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian pengaruh komposisi grafit dan waktu pengadukan terhadap ketahanan sifat mekanik dan struktur mikro pada krusibel, rumusan masalah yang menjadi dasar penelitian ini, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan teori mengenai tanah lempung, silikon karbida, grafit, *mixing*, krusibel, Karakteristik tanah lempung, pengujian susut bakar, pengujian porositas, kuat tekan, SEM. Bab III menjelaskan tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan serta prosedur penelitian. Bab IV menjelaskan tentang hasil, analisa dan pembahasan terkait penelitian yang telah dilakukan. Bab V menjelaskan tentang kesimpulan dan saran hasil penelitian. Lampiran berisi tentang contoh perhitungan, data hasil pengujian serta gambar alat dan bahan.

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 $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ 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 $K_yAl_2(FeMg_2Mg_3)(Si_4yAl_yO_{10})(OH)_2$. 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 fieldspatik 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 ⁴kekerasan yang rendah, tidak terbakar dan mudah larut dalam logam cair, tahan

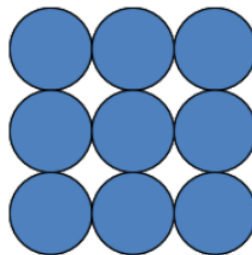
panas dan merupakan konduktor panas yang baik. Grafit mempunyai koefisien gesek yang rendah, bahan ini dapat digunakan sebagai pelumas padat atau *solid lubrication*. Grafit adalah bentuk kristal karbon yang lembut dan rapuh, dengan kekerasan 1 Hb.

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> (× 10 ⁻⁶ °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 × 10 ⁻⁶ – 30 × 10 ⁻⁶

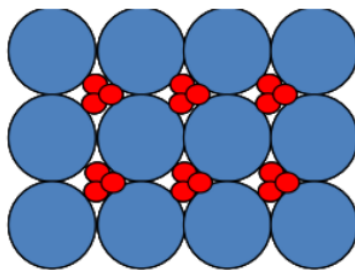
Pada grafit terjadi anisotropi sesuai dengan nilai modulus Young, dimana komponen yang tegak lurus bidang alas akan mempunyai nilai yang lebih rendah dibandingkan komponen yang sejajar bidang alas. Hal ini juga menyebabkan adanya sifat anisotropik pada konduktivitas termal. Hal tersebut karena ikatan 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).

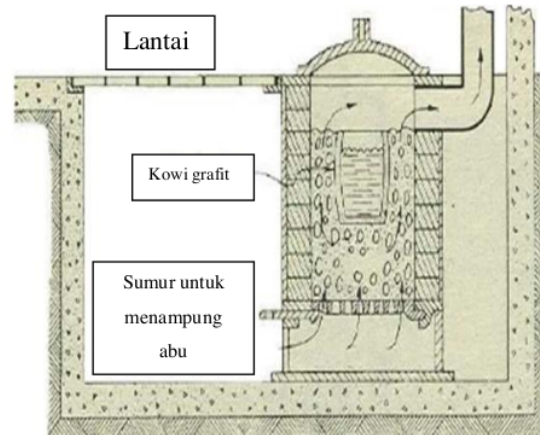


Gambar 2.7 Ilustrasi Partikel Grafit dapat mengisi Ruang kosong
(Abdullah, Sonya, Nuryadi, *et al.*, 2009)

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 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.

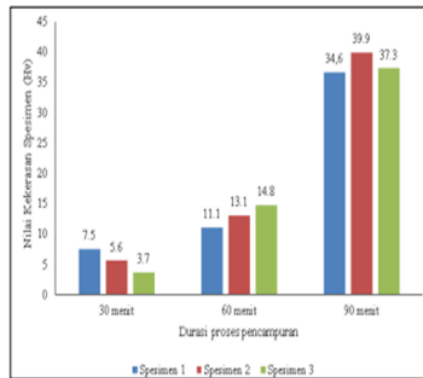
2.6 Pengadukan

Pengadukan³ 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.

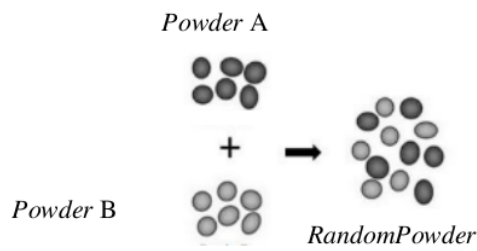


Gambar 2.9 Variasi Waktu Pencampuran (Triyanto *et al.*, 2021)

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*

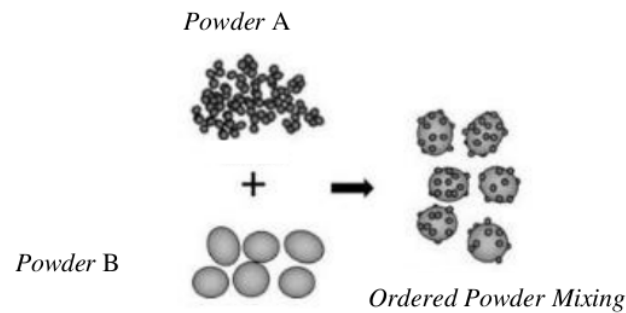
Random mixing adalah proses membagi dan menggabungkan kembali lapisan setiap partikel secara berulang-ulang hingga berada pada titik tertentu dalam campuran pada suatu waktu. seperti pada Gambar 2.10.



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

b. *Ordered mixing*

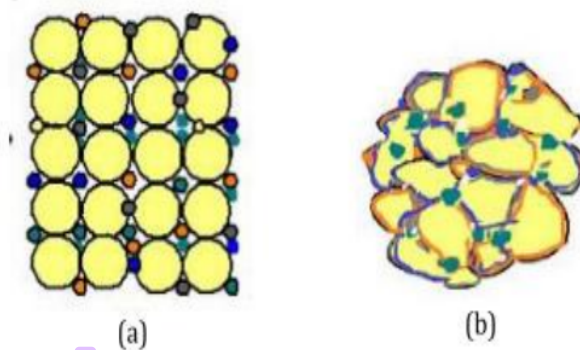
Pada proses *Ordered mixing* partikel halus cenderung mengisi dan menempel pada permukaan partikel halus untuk mengisi dan menempel pada permukaan partikel kasar selama pencampuran. Proses ini menciptakan sistem yang lebih konsisten dan stabil seperti pada Gambar 2.11.



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-component 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 :

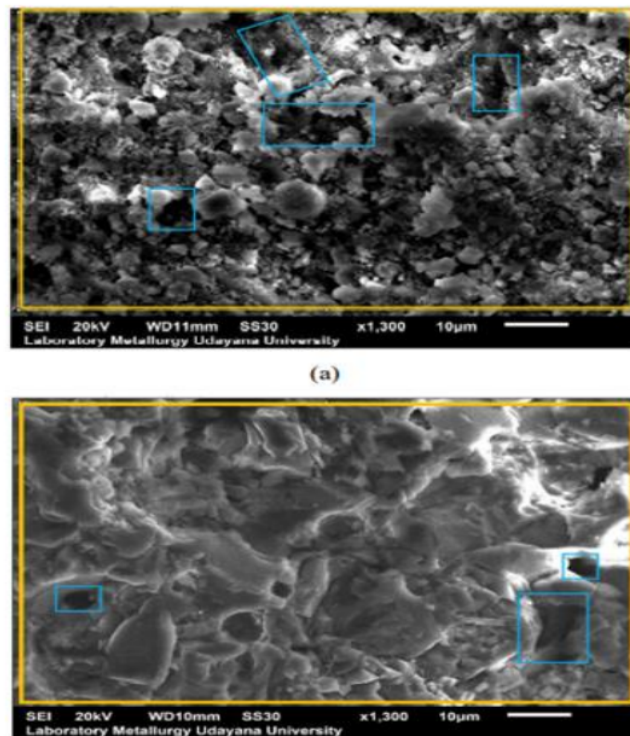
P = gaya tekan aksial (N)

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 (Tusniari, 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.



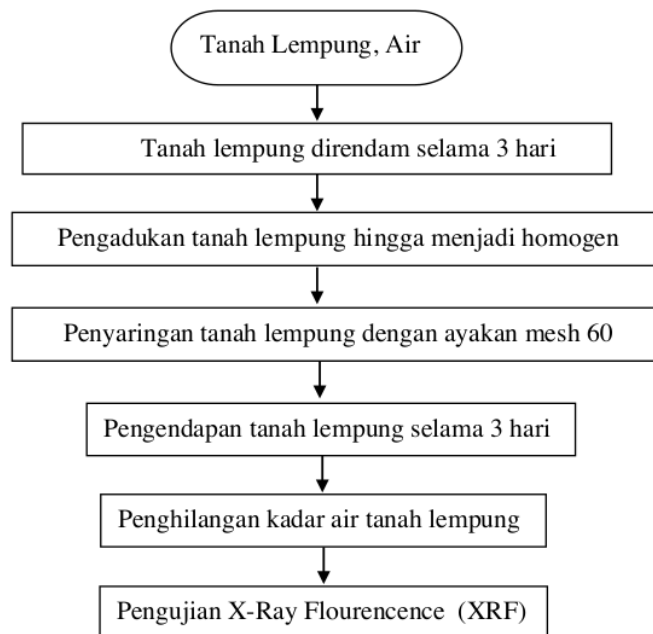
Gambar 2.14 Hasil pengukuran SEM sampel di sinter: (a). pada suhu 900°C (b). pada suhu 1200°C (Tusniari et al., 2018).

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).

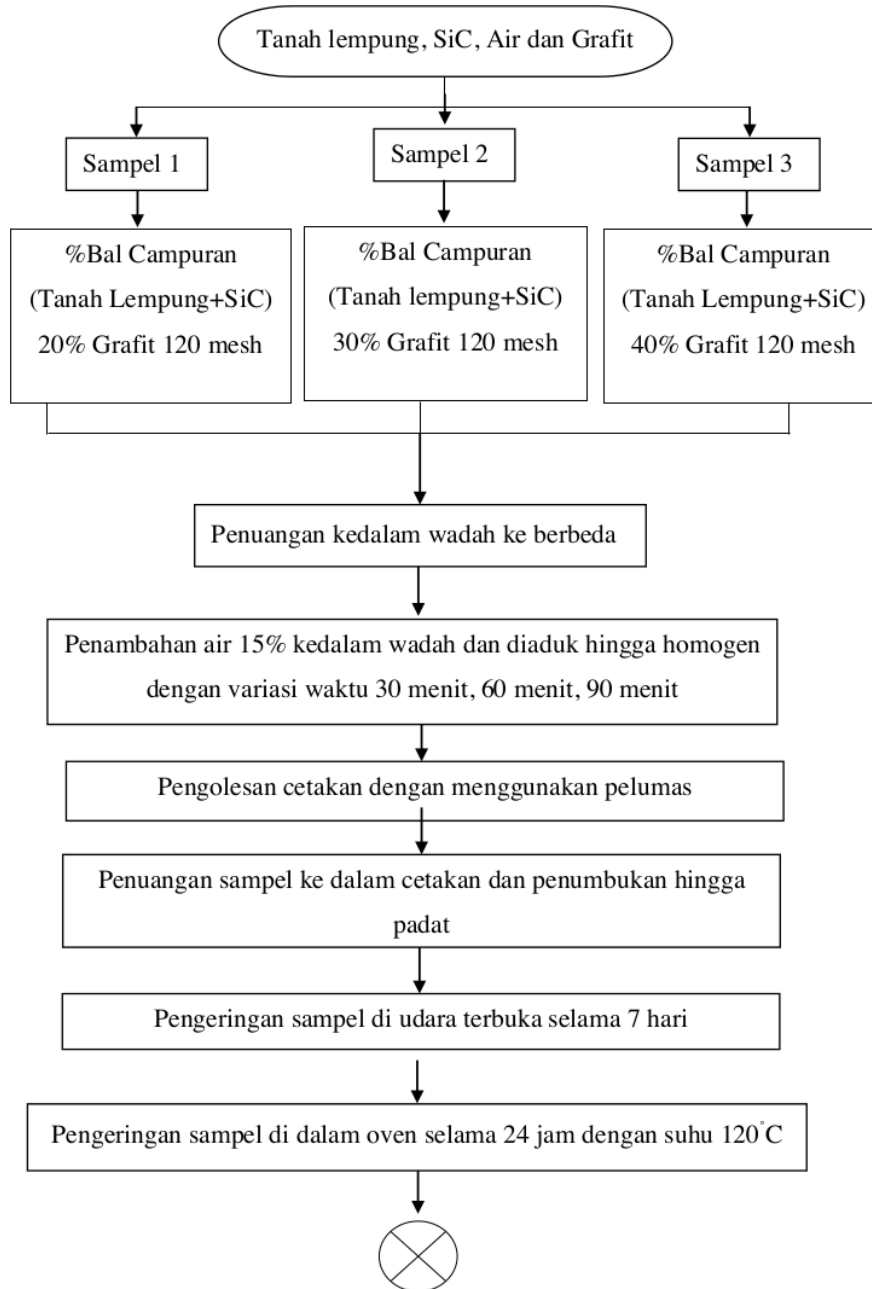
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

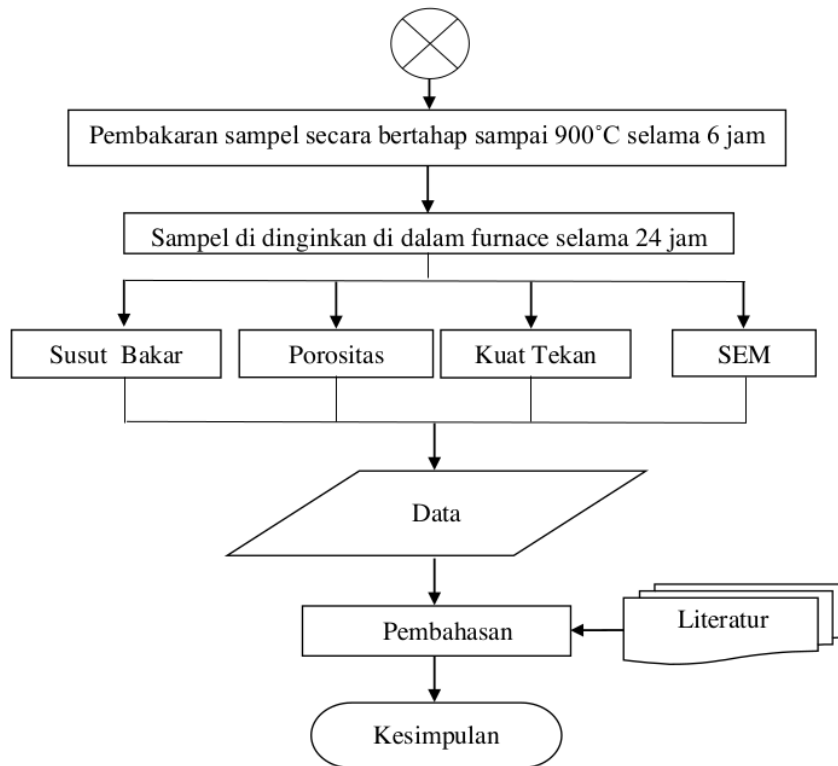
3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian mengenai pembuatan krusibel yang akan dilakukan ini terdapat dua tahapan. Tahapan pertama preparasi yaitu preparasi tanah lempung sebagai bahan dasar pembuatan krusibel, tahap kedua yaitu pembentukan sampel dan pengujian sampel krusibel yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Prosedur Preparasi Tanah Lempung





Gambar 3.2 Prosedur Pembentukan Sampel

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang Digunakan

Pada penelitian ini digunakan alat sebagai berikut:

1. Alat Pelindung Diri
2. Ayakan
3. Alat Uji *Mixer Cosmos* CM1-289
4. Alat Uji Kuat Tekan
5. Alat Uji SEM
6. Alat Uji XRF

7. Cetakan
8. Electric Furnace
9. Ember
10. Jangka Sorong
11. Neraca Digital
12. Oven
13. Penggaris
14. Wadah

3.2.2 Bahan yang Digunakan

Adapun bahan yang digunakan ialah sebagai berikut:

1. Air
2. Grafit
3. Pelumas
4. Silikon karbida (SiC)
5. Tanah lempung dari daerah Sukajaya Kabupaten Bogor

3.3 Prosedur Penelitian

Proses pembuatan krusibel ini diawali dengan menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Kemudian preparasi tanah lempung yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang terdapat pada tanah lempung dan membuat tanah lempung mudah untuk dibentuk. Selanjutnya tanah yang telah diproses akan dilakukan pembuatan sampel krusibel. Prosedur penelitian dan pengujian sampel krusibel dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

3.3.1 Preparasi Tanah Lempung

Adapun prosedur preparasi tanah lempung yang telah dilakukan pada penelitian ini, menyiapkan tanah lempung dan air, kemudian merendam tanah lempung didalam wadah yang telah di isi air selama 3 hari hingga tanah lempung mengalami pelapukan menjadi butiran-butiran yang lebih halus sehingga tanah lempung menjadi seperti lumpur tanah liat. Kemudian melakukan pengaduk pada tanah lempung agar mempercepat kondisi tanah lempung menjadi lumpur tanah liat agar mempermudah proses penyaringan. Selanjutnya menyaring dengan saringan *mesh* 60, penyaringan ini bertujuan untuk memisahkan pengotor yang terdapat pada tanah lempung tersebut. Tanah lempung yang sudah disaring dan dipisahkan dari pengotornya dilakukan tahap mengendapkan tanah lempung selama 3 hari sampai tanah lempung menjadi seperti lumpur. Tanah lempung dipisahkan dari air endapan, kemudian tanah lempung dilakukan pengurangan kadar air dengan menuangkan tanah lempung pada tempat yang sudah disiapkan dan dilakukan penguapan di udara terbuka.

3.3.2 Proses *X-Ray Fluorescence* (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan salah satu alat yang digunakan untuk analisis unsur yang terkandung dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisa kualitatif menghasilkan informasi unsur yang terkandung pada bahan yang ditunjukan adanya spektrum unsur pada sinar-X sedangkan Analisa kuantitatif menghasilkan informasi jumlah

unsur yang terkandung pada bahan yang di tunjukan ketinggian puncak spektrum. Analisa menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan hamburan sinar-x yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron pada target terkena sinar yang berenergi tinggi. Pada pengujian ini, tanah lempung dianalisa untuk mengetahui unsur atau senyawa yang terkandung pada tanah lempung. Berikut alat yang digunakan untuk XRF ¹ Gambar 3.3

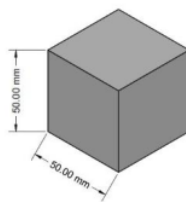


Gambar 3.3 Alat Uji XRF

3.3.3 Proses Pembentukan Sampel

Proses pembuatan sampel dengan tanah lempung yang sudah dilakukan preparasi pada penelitian ini, menyiapkan tanah lempung, grafit dan silikon karbida, kemudian dilakukan pencampuran tanah lempung, SiC dan air kemudian menuangkan bahan yang telah disiapkan kedalam wadah yang berbeda dengan ukuran 120 mesh pada setiap bahan, pada sampel pertama menuangkan komposisi tanah lempung yang telah dilakukan pencampuran dengan silikon karbida dengan 20% grafit dalam

wadah. Kemudian pada sampel kedua dilakukan penuangan tanah lempung yang sudah dilakukan pencampuran dengan silikon karbida dengan 30% grafit kedalam wadah. selanjutnya menuangkan komposisi tanah lempung yang sudah dilakukan pencampuran dengan silikon karbida dengan 40% grafit ke dalam wadah. Setelah itu menuangkan air sebanyak 15% kedalam wadah yang telah terisi oleh masing-masing komposisi yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan pengadukan dengan menggunakan mesin *mixer* dengan variasi waktu yaitu 30 menit, 60 menit dan 90 menit pada setiap variasi komposisi. Pada saat yang sama menyiapkan cetakan dan dilakukan pengolesan pelumas pada bagian tengah untuk memudahkan pelepasan sampel dari cetakan. Kemudian melakukan penuangan bahan ke dalam cetakan yang berbentuk kubus dan melakukan penumbukan hingga padat dengan menggunakan kayu yang telah dibentuk sesuai cetakan sehingga sampel membentuk kubus dengan ukuran 50×50×50 mm seperti pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Sketsa ukuran sampel

Setelah itu melakukan pengeringan sampel di udara terbuka selama 7 hari untuk menghilangkan kadar air pada sampel hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Proses Pengeringan di udara Terbuka

Setelah sampel dikeringkan selanjutnya melakukan kembali pengeringan dengan oven selama 24 jam dengan suhu 120°C untuk menghilangkan kadar air yang tersisa dalam sampel. Kemudian melakukan pembakaran menggunakan *muffel furnace* secara bertahap sampai suhu 900°C selama 6 jam agar sampel mengalami proses kematangan, sehingga diharapkan menghasilkan sampel yang tidak mudah pecah atau retak seperti pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Proses Pemanasan 900°C

Sampel yang telah diproses pembakaran kemudian sampel didinginkan di dalam *muffle furnace* selama 24 jam.

3.3.4 Susut Bakar

Susut Bakar adalah perubahan dimensi atau volume bahan yang telah dibakar, penentuan susut bakar ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ Susut bakar} = \frac{(V_0 - V_1)}{V_0} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

S = persentase susut volume

V_0 = volume sebelum dibakar (cm^3)

V_1 = volume sesudah dibakar (cm^3)

Tahapan penentuan susut bakar ini dilakukan berdasarkan penelitian (Effendi, 2010) yang telah dilakukan menggunakan standar SNI 15-0255-1984. Pembakaran sampel dilakukan di laboratorium metalurgi I menggunakan *muffle furnace*, sebelum dilakukan pembakaran sampel dilakukan pengukuran dengan menggunakan penggaris atau jangka sorong untuk mengetahui volume sebelum pembakaran (V_0). Kemudian sampel yang telah dilakukan pengukuran dibakar menggunakan *muffle furnace* secara bertahap sampai suhu 900°C selama 6 jam, setelah dilakukan pembakaran sampel didinginkan selama 24 jam di dalam *muffle furnace* agar sampel tidak mengalami keretakan. Kemudian setelah sampel dingin dilakukan pengukuran kembali untuk mengetahui volume setelah pembakaran (V_1). Berikut alat yang digunakan pada susut bakar seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Muffle Furnace*

3.3.5 Pengujian Porositas

Metode yang digunakan pada pengujian porositas pada penelitian ini mengikuti standart ASTM C20-00 . Pengujian ini diawali dengan menyiapkan sampel yang telah dilakukan pembakaran. Selanjutnya menimbang sampel dengan neraca berat untuk mengetahui berat kering sampel (D). kemudian merendam sampel di dalam air yang telah disiapkan dan dipanaskan selama 2 jam hingga air mendidih, dengan kondisi sampel yang direndam tidak ada kontak dengan bagian bawah wadah. Setelah air mendidih, sampel yang masih terendam di dalam air didinginkan di suhu ruangan selama 12 jam. sampel yang telah didinginkan, setelah itu melakukan penimbangan dalam keadaan sampel masih terendam dengan neraca gantung, berat yang didapatkan adalah berat dalam air (S). Kemudian mengeluarkan sampel dari dalam air dan membasuh permukaan sampel dengan menggunakan kain untuk mendapatkan berat kering permukaan (W). Selanjutnya dilakukan perhitungan persentase porositas dengan persamaan 2.2 dan 2.3.

3.3.6 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan sampel krusibel ini dilakukan berdasarkan standar SNI 1974:2011. Pengujian kuat tekan ini diawali dengan menyiapkan sampel yang sudah dilakukan pengeringan dan pembakaran. Pengujian kuat tekan ini dilakukan di Laboratorium PT Wijaya Karya (Persero) Tbk, Depok. Pengujian kuat tekan sampel menggunakan mesin *compression machine type elle-01354*. Pembebanan diberikan pada sampel rentang 0,15 MPa/detik sampai dengan 0,35 MPa/detik. Berikut alat yang digunakan pada pengujian kuat tekan seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Alat Uji Tekan

3.3.7 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

Sampel dilakukan pengamatan menggunakan SEM JEOL JSM-650 LA yang mempunyai percepatan energi 20keV dan dilengkapi detektor EDX yang mampu mengidentifikasi komposisi unsur paduan. Gambar yang

diambil pada SEM adalah bagian *surface* ini untuk mengamati struktur mikro dan rongga pada sampel.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Kandungan tanah lempung

Pada permulaan proses penelitian menggunakan bahan tanah lempung, grafit dan silikon karbida. Tanah lempung yang dipakai pada penelitian ini dari daerah Sukajaya Kabupaten Bogor, tanah lempung ini dapat dimanfaatkan untuk pembuatan krusibel. Pada penelitian kali ini dilakukan karakterisasi kandungan tanah lempung, tanah lempung dilakukan karakterisasi XRF. 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).

4.1.1 Karakterisasi XRF

Tabel 4.1 Karakterisasi XRF pada Tanah Lempung

Komposisi	Kadar (%)
SiO ₂	56,895
Al ₂ O ₃	24,230
Fe ₂ O ₃	10,782
K ₂ O	2,824
TiO ₂	1,787
CaO	1,430
ZnO	0,122
PbO	0,131
Other	1,799

Untuk mengetahui senyawa yang terkandung di dalam tanah lempung dilakukan pengujian XRF. Pengujian XRF dilakukan di PT Multi Hanna Kreasindo, diperoleh data seperti pada Tabel 4.1. Dari hasil yang diperoleh senyawa yang paling dominan adalah SiO_2 diikuti dengan Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . Hal ini sesuai dengan literatur yang didapatkan bahwa lempung banyak mengandung senyawa Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 dan lain lain. Senyawa ini merupakan pembentuk material keramik akan tetapi setiap lempung memiliki kandungan senyawa yang bervariasi (Husain, Haryanti and Manik, 2016). Pengaruh senyawa SiO_2 untuk mengurangi penyusutan pada keramik. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 juga dapat meningkatkan sifat tahan api pada keramik. Sedangkan kandungan besi oksida (Fe_2O_3) dapat mempengaruhi warna dari badan keramik setelah dilakukan proses sintering, warna yang biasa dihasilkan yaitu merah (Bayuseno, 2009). Berdasarkan analisa tersebut tanah lempung dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan krusibel.

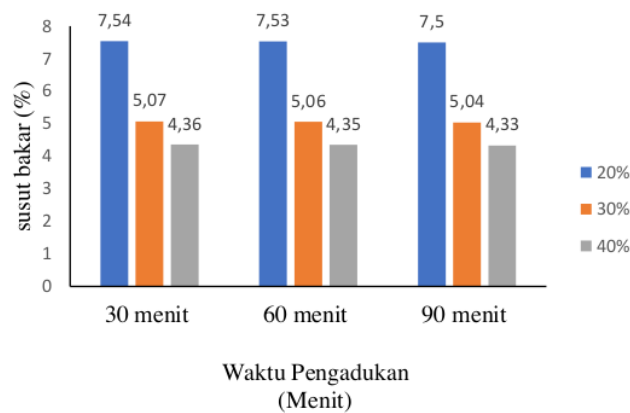
4.1.2 Analisa Hasil Pengujian Susut Bakar

Pengujian susut bakar dengan metode susut volume yang dilakukan untuk mengetahui nilai susut bakar pada sampel. Hasil pengujian susut bakar dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Hasil Susut Bakar

No	Komposisi grafit %	Waktu Pengadukan (Menit)	Volume Sebelum Dibakar (cm^3)	Volume Setelah Dibakar (cm^3)	Susut bakar (%)
1	20	30	100,54	92,95	7,54%
2	20	60	101,19	93,57	7,53%
3	20	90	102,50	94,81	7,50%
4	30	30	100,54	95,44	5,07%
5	30	60	101,19	96,07	5,06%
6	30	90	102,50	97,33	5,04%
7	40	30	107,17	102,50	4,36%
8	40	60	107,85	103,16	4,35%
9	40	90	109,21	104,48	4,33%

Hasil nilai susut bakar pada Tabel 4.2 menunjukkan nilai susut bakar pada komposisi grafit 20% dengan waktu pengadukan 30 menit, 60 menit dan 90 menit didapatkan nilai susut bakar sebesar 7,54%, 7,53% dan 7,50%. Pada komposisi 30% dengan waktu pengadukan 30 menit, 60 menit dan 90 menit didapatkan nilai susut bakar sebesar 5,07%, 5,06% dan 5,04%. Selanjutnya komposisi 40% dengan waktu pengadukan 30 menit, 60 menit dan 90 menit didapatkan nilai susut bakar sebesar 4,36%, 4,35% dan 4,33%. Hasil data dari pengujian susut bakar ini direpresentasikan pada grafik batang seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Pengaruh Komposisi Grafit dan Waktu Pengadukan terhadap Susut Bakar

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa penambahan grafit 20%, 30% dan 40% mengalami penurunan susut bakar. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan penambahan tanah lempung sebagai bahan dasar sampel. Semakin sedikit tanah lempung yang digunakan maka nilai susut bakarnya

akan semakin menurun karena penyusutan adalah salah satu sifat tanah lempung ketika proses sintering yang menyebabkan perubahan massa dan dimensi pada keramik (Ridayani, Malino and Asri, 2017). Penyusutan terjadi karena adanya proses sintering yang mengakibatkan partikel-partikel tanah lempung saling mendekat menjadi struktur yang rapat. Salah satu parameter yang menunjukkan terjadinya proses sintering adalah penyusutan akibat adanya perubahan struktur mikro (Huda and Hastuti, 2012). Sedangkan pada variasi waktu pengadukan terhadap susut bakar cenderung stabil, karena susut bakar dipengaruhi oleh penambahan tanah lempung yang menjadi bahan dasar pembuatan sampel relatif sama pada sampel yang dilakukan variasi waktu pengadukan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Anwat dan Nonthaphong bahwa pada umumnya tanah lempung harus memiliki persentase penyusutan setelah proses pembakaran yaitu 5%-8% (Srisuwan and Phonphuak, 2020).

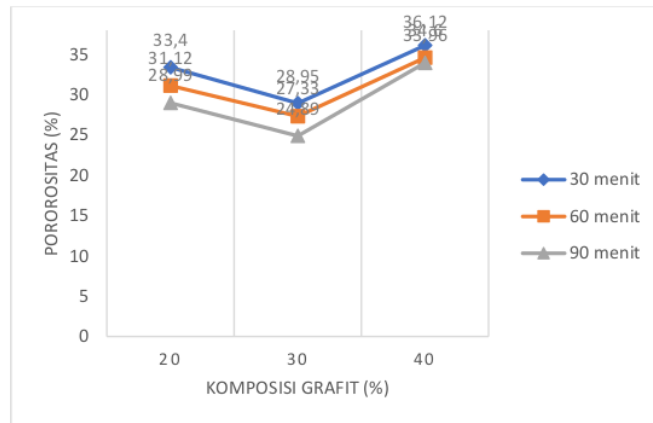
4.2 Analisa Pengujian Porositas

Sampel yang telah dilakukan proses *sintering* dan pendinginan, kemudian dilakukan pengujian porositas dilakukan bertujuan untuk mengetahui porositas yang terbentuk pada sampel. Pengujian yang dilakukan mengacu pada standar ASTM C20-00. Penentuan porositas pada sampel dapat diperoleh dari hasil pengukuran berat kering, berat sampel dalam air dan permukaan. Pada pengujian porositas dilakukan di laboratorium metalurgi II dengan menggunakan neraca digital. Hasil pengujian porositas yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Porositas

No	Komposisi (%)	Waktu pengadukan (menit)	Porositas (%)
1	20%	30 menit	33,40%
2	20%	60 menit	31,12%
3	20%	90 menit	28,99%
4	30%	30 menit	28,95%
5	30%	60 menit	27,33%
6	30%	90 menit	24,89%
7	40%	30 menit	36,12%
8	40%	60 menit	34,60%
9	40%	90 menit	33,96%

Dari hasil pengujian porositas yang disajikan pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa penambahan komposisi grafit tertentu akan menurunkan porositas, namun setelah melewati variasi penambahan grafit 30% akan menaikkan porositasnya, yang digambarkan menjadi grafik yang dapat dilihat seperti pada Gambar 4.2

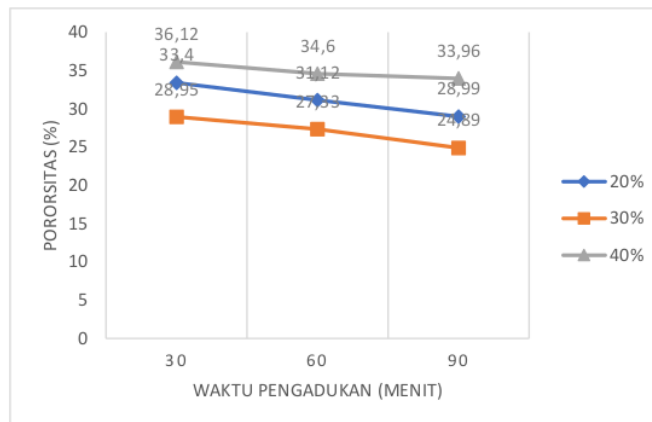


Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Komposisi Grafit terhadap Porositas

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pada komposisi penambahan grafit 20% didapatkan nilai porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan

penambahan komposisi grafit 30%. Hal ini disebabkan pada penambahan grafit 20%, partikel grafit belum mampu mengisi ruang kosong dan membentuk ikatan antara partikel tanah lempung dengan grafit. Dengan penambahan komposisi grafit yang sedikit memungkinkan masih adanya ruang kosong antara partikel tanah lempung (Abdullah, Sonya, Nuryadin, *et al.*, 2009). Kemudian pada penambahan komposisi grafit 30% terjadi penurunan porositas hal ini disebabkan oleh susunan tanah lempung dan grafit mencapai kesetabilan susunan, yang menyebabkan penggabungan partikel semakin rapat karena pori-pori dapat terisi oleh grafit (Yulianto, Setyawan and Irnawan, 2022). Sedangkan pada penambahan grafit sebesar 40% terjadi kenaikan porositas. Hal ini disebabkan karena grafit yang semakin banyak menyebabkan ikatan antar partikel menjadi tidak seimbang dan menyebabkan banyaknya pori akibat perbandingan susunan tanah lempung dengan grafit yang terlalu signifikan yang mengakibatkan susunan partikel tanah lempung menjadi tidak stabil. Sehingga ikatan antar bahan penyusun semakin renggang dan porositas semakin besar (Rahmawati and Sunarsih, 2015).

Variasi waktu pengadukan pada pembuatan krusibel menghasilkan nilai pengujian yang variatif sehingga data hasil pengujian porositas yang dihasilkan dilakukan analisa yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu pengadukan terhadap porositas sampel krusibel, yang digambarkan dengan grafik pengaruh waktu pengadukan terhadap porositas dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap Porositas

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengadukan yaitu 30 menit, 60 menit dan 90 menit maka persen porositas semakin menurun. Bertambahnya durasi waktu pengadukan menghasilkan pencampuran yang homogen. Semakin homogen material yang dihasilkan dari proses *mixing* maka semakin sedikit jumlah porositas yang dihasilkan (Rusiyanto *et al.*, 2022). Penurunan porositas terjadi dengan pertambahan lama waktu pengadukan, yang memungkinkan adanya penggabungan partikel-partikel yang menyebabkan material menjadi lebih padat dan memungkinkan tidak adanya ruang kosong antar partikel penyusun (Rahmah, Hikmawati and Siswanto, 2015). Pada bahan refraktori porositas yang diizinkan berkisar 10-30% (Iyasara *et al.*, 2016).

4.3 Analisa Pengujian Kuat Tekan

Sampel yang telah dilakukan proses *sintering* juga disiapkan dengan bentuk kubus ukuran 50×50×50 mm sebanyak sembilan sampel untuk dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian nilai kuat tekan dilakukan di PT Wijaya Karya

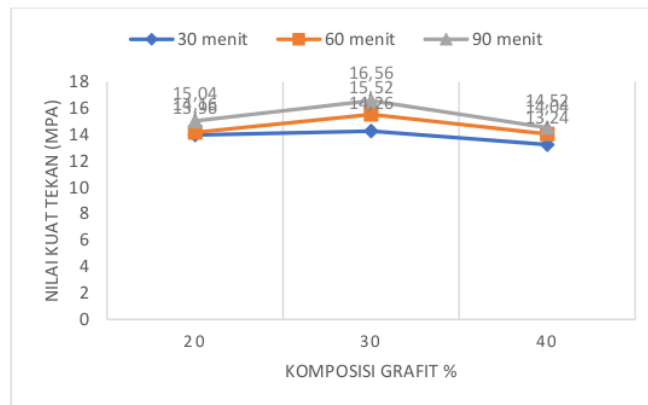
(Persero) Tbk Depok. Pengujian kuat tekan ini menggunakan standar SNI 1976:2011. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, dilakukan pengukuran luas penampang untuk dilakukan kalkulasi sehingga mendapatkan nilai kuat tekan. Pengujian kuat tekan sampel menggunakan mesin *compression machine type elle-01354*. Pembebanan diberikan pada sampel rentang 0,15 MPa/detik sampai dengan 0,35 MPa/deti. Kuat tekan merupakan gaya persatuan benda cenderung mengakibatkan benda tersebut mengalami deformasi. Pengujian kuat tekan dilakukan bertujuan untuk menganalisa sampel saat dikenai beban tekan dan mengukur seberapa besar beban yang akan ditahan sebelum sampel mengalami kegagalan atau kerusakan permanen. Hasil pengujian nilai kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

NO	Komposisi (%)	Waktu Pengadukan (Menit)	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	20	30	13,96
2	20	60	14,16
3	20	90	15,04
4	30	30	14,26
5	30	60	15,52
6	30	90	16,56
7	40	30	13,24
8	40	60	14,04
9	40	90	14,52

Pada Tabel 4.4 hasil pengujian kuat tekan didapatkan pengaruh komposisi grafit terhadap nilai kuat tekan. Pada penambahan komposisi grafit dengan komposisi grafit 30% akan meningkatkan nilai kuat tekan, namun jika dilakukan

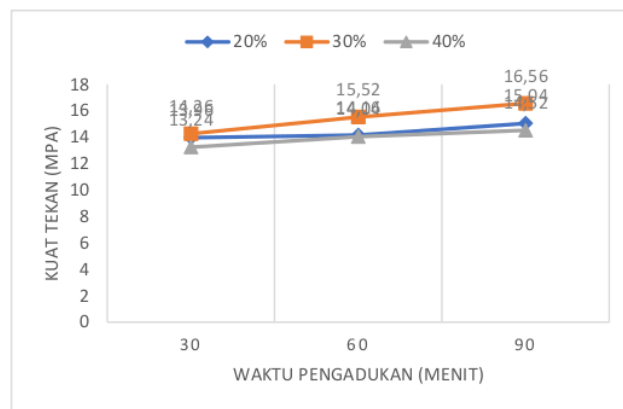
penambahan grafit 40% maka akan menurunkan nilai kuat tekan yang digambarkan dengan grafik seperti pada Gambar 4.4 .



Gambar 4.4 Pengaruh Komposisi Grafit terhadap Kuat Tekan

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada penambahan komposisi grafit 20% didapatkan nilai kuat tekan lebih rendah jika dibandingkan dengan penambahan komposisi grafit 30% hal ini disebabkan pada penambahan komposisi grafit 20%, partikel grafit belum mampu mengisi ruang kosong dan membentuk ikatan yang kuat antara partikel tanah lempung dengan partikel grafit, dengan penambahan komposisi grafit yang sedikit mungkin masih adanya ruang kosong antara partikel tanah lempung. Kemudian pada penambahan komposisi grafit 30% didapatkan nilai kuat tekan yang tertinggi pada penelitian ini. Hal ini disebabkan ruang kosong antar partikel tanah lempung diisi oleh partikel grafit yang mengakibatkan tanah lempung mampu mengikat partikel grafit sehingga terbentuk ikatan yang kuat antara partikel tanah lempung dengan partikel grafit. Namun setelah penambahan komposisi grafit 40% terjadi penurunan nilai kuat tekan. Hal

ini disebabkan munculnya ikatan yang tidak sempurna yaitu ikatan antar grafit itu sendiri. Ikatan antara grafit dengan grafit lebih lemah dibandingkan dengan ikatan tanah lempung dan grafit. Dengan demikian kehadiran ikatan antara grafit dengan grafit akan memperlemah keramik (Abdullah, Sonya, Nuryadin, *et al.*, 2009). Salah satu faktor adanya peningkatan dan penurunan nilai kuat tekan yaitu porositas sampel. Hal ini dibuktikan dengan persen porositas yang menurun pada penambahan komposisi grafit 30% dan ada nya kenaikan porositas pada penambahan komposisi grafit 40%. Peningkatan porositas umumnya akan mengurangi kekuatan tekan suatu bahan, karena ruang kosong dalam bahan akan mengurangi kontak antara partikel-partikel material. Sehingga semakin porositasnya semakin rendah nilai kuat tekan bahan tersebut.

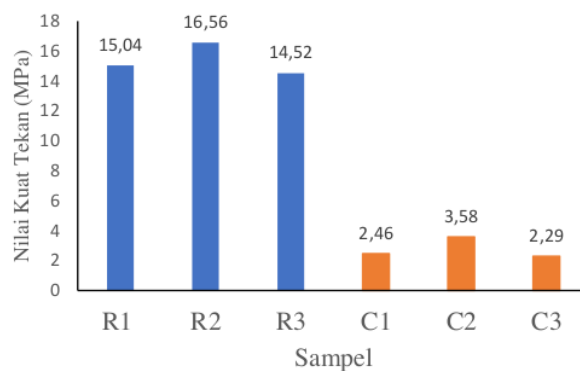


Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap Nilai Kuat Tekan

Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pengaruh waktu pengadukan pada nilai kuat tekan. Semakin lama waktu pengadukan yaitu 30 menit, 60 menit dan 90 menit maka nilai kuat tekan akan meningkat. Hal ini disebabkan semakin lama

waktu pengadukan maka grafit dapat terdistribusi merata dengan tanah lempung sehingga menghasilkan campuran yang homogen. Ketika campuran bahan memiliki homogenitas yang tinggi pada pembuatan keramik maka akan menghasilkan kekuatan mekanik yang tinggi dan struktur mikro yang terdistribusi secara homogen (Rusiyanto *et al.*, 2022). Hasil kuat tekan yang meningkat dipengaruhi oleh porositas sampel, semakin lama waktu pengadukan menyebabkan sampel tercampur secara homogen yang menyebabkan porositas semakin mengecil karena grafit mengisi pori. Untuk nilai kuat tekan yang diinginkan pada bahan refraktori yaitu berkisar 13,79 Mpa-41,37 MPa (Harbison Walker, 2005).

Dari hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan jika dibandingkan dengan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ubani, 2021 dapat disimpulkan bahwa pengaruh komposisi yang digunakan untuk pembuatan krusibel menyebabkan nilai kuat tekan yang dihasilkan fluktuatif (Ubani and Atanmo, 2021). Akan tetapi Hasil kuat tekan yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi. Seperti pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Hasil Kuat Tekan

Keterangan:

R1: %Bal. Campuran (Clay+SiC), 20% Grafit

R2: %Bal. Campuran (Clay+SiC), 30% Grafit

R3: %Bal. Campuran (Clay+SiC), 40% Grafit

C1: %Bal. Campuran (Grafit, SiC, dan Granit), 40% Tanah Lempung

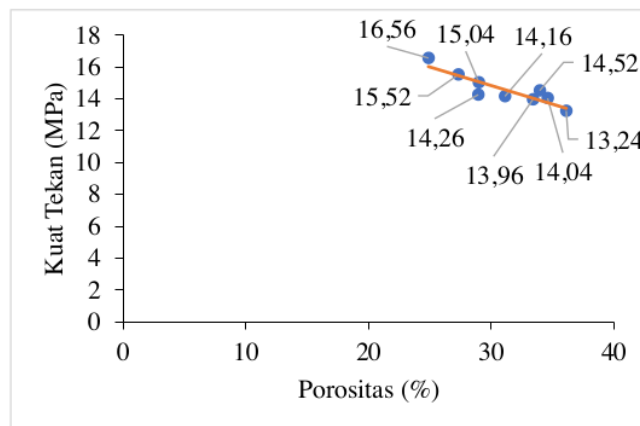
C2: %Bal. Campuran (Grafit, SiC, dan Granit), 46% Tanah Lempung

C3: %Bal. Campuran (Grafit, SiC, dan Granit), 48% Tanah Lempung

Berbeda halnya jika dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ohji (2011), bahwa nilai kuat tekan yang dihasilkan di pengaruhi oleh waktu pengadukan. Meningkatnya waktu pengadukan yang digunakan, maka akan menghasilkan nilai kuat tekan yang meningkat dan menghasilkan sampel yang lebih homogen sehingga rongga yang pada sampel lebih sedikit (Ohji, Singh and Mathur, 2011).

4.4 Hubungan Antara Nilai Kuat Tekan dan Nilai Porositas

Hubungan antara Nilai Kuat Tekan dengan Nilai porositas pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.7

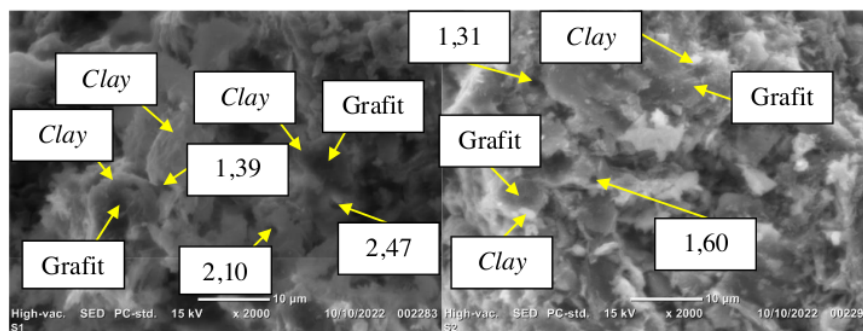


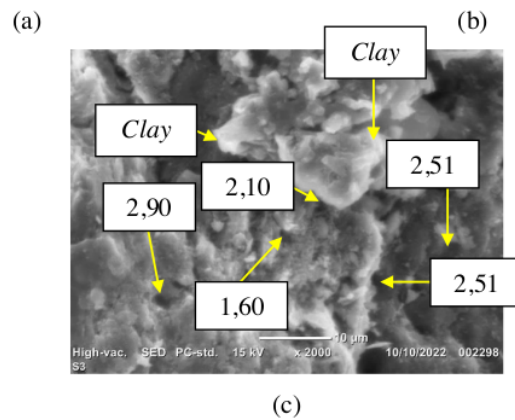
Gambar 4.7 Hubungan antara Nilai Kuat Tekan dan Porositas

Pada Gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara nilai nilai kuat tekan dan nilai porositas berbanding terbalik artinya semakin tinggi porositas pada sampel maka nilai kuat tekannya akan semakin kecil. Meningkatnya nilai porositas menunjukkan bahwa sampel memiliki pori yang cukup besar, akibat penguapan air dan pemuain material pengisi sampel. Sehingga menyebabkan turunnya kualitas sampel dalam memikul beban kuat tekan. Semakin besar porositas yang terukur maka semakin rendah kekuatan suatu bahan (Rhomar, Putra and Astuti, 2017). Hal ini juga dibuktikan pada sampel yang mendapatkan porositas tertinggi pada komposisi 40% dengan waktu pengadukan 30 menit sebesar 36,12% menghasilkan nilai kuat tekan terendah yaitu 13,24 Mpa dan porositas terendah pada penambahan komposisi grafit 30% dengan waktu pengadukan 90 menit sebesar 24,89% menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi yaitu 16,56 MPa.

4.5 Analisa Hasil Pengujian SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur setelah dilakukan penambahan variasi komposisi grafit dan waktu pengadukan. Pengujian SEM dilakukan pada tiga sampel dengan hasil pengujian kuat tekan terbaik dari masing-masing variasi komposisi dan waktu pengadukan dapat dilihat pada Gambar 4.8





Gambar 4.8 Struktur Mikro Sampel Pada Penambahan Komposisi Grafit dan waktu pengadukan (a) 20% Waktu pengadukan 90 menit (b) 30% Waktu Pengadukan 90 Mneit (c) 40% Waktu Pengadukan 90 menit

Pada Gambar 4.8 merupakan struktur mikro dari sampel dengan pembesaran 2000 kali. Gambar ini menunjukkan struktur mikro sampel bahwa partikel tanah lempung berupa lempengan-lempengan yang menyatu antara partikel partikel tanah lempung yang berwarna warna putih dengan partikel grafit yang berwarna hitam yang telah mengisi ruang kosong setelah dilakukan proses *sintering*. Pada Gambar 4.8 (a) terlihat penambahan komposisi grafit 20% dengan waktu pengadukan 90 menit tidak cukup mampu untuk mengisi ruang kosong dan membentuk ikatan hal ini disebabkan karena perbandingan komposisi tanah lempung sebagai bahan dasar dengan grafit lebih besar seperti yang terlihat pada Gambar 4.8 (a) adanya lempengan yang berwarna putih lebih dominan. pada komposisi penambahan komposisi grafit 30% dengan waktu pengadukan 90 menit terlihat pada Gambar 4.8 (b) menunjukkan strktur mikro yang lebih padat, karena ikatan partikel tanah lempung dengan partikel grafit mencapai optimal. Partikel grafit yang terdistribusi merata mampu mengisis ruang kosong dan membentuk

ikatan antara partikel tanah lempung dengan partikel grafit (Abdullah, Sonya, Nuryadin, *et al.*, 2009). sedangkan pada komposisi grafit 40% dengan waktu pengadukan 90 menit yang terlihat pada Gambar 4.8 (c) menunjukkan bahwa partikel tanah lempung dengan grafit tidak mengalami ikatan yang sempurna karena penambahan komposisi grafit 40% menyebabkan adanya ikatan antar grafit itu sendiri, dan menyebabkan susunan partikel tanah lempung menjadi tidak stabil, sehingga menyebabkan ikatan antar bahan penyusun semakin renggang dan porositas semakin besar (Rahmawati and Sunarsih, 2015). Hal ini dibuktikan dengan adanya partikel lempungan yang berwarna dominan hitam. Pada Gambar 4.8 telah dilakukan pengukuran diameter pori pada sampel. Pada sampel penambahan komposisi Grafit 20% dengan waktu pengadukan 90 menit didapatkan porositas dengan diameter 1,36 nm, 2,10 nm dan 2,47 nm. Pada komposisi grafit 30% dengan waktu pengadukan 90 menit didapatkan diameter porositas 1,31 nm, dan 1,61 nm dan pada penambahan komposisi grafit 40% dengan waktu pengadukan didapatkan diameter porositas sebesar 2,90 nm 2,10 nm dan 2,51 nm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu mengenai penambahan komposisi grafit dan variasi waktu pengadukan terhadap kuat tekan dan struktur mikro maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian kuat tekan dihasilkan dengan penambahan komposisi grafit pada komposisi tertentu dapat meningkatkan nilai kuat tekan namun setelah 30% penambahan komposisi grafit, akan menurunkan nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada penambahan grafit 30% dengan waktu pengadukan 90 menit sebesar 16,56 MPa. Pada sampel ini memiliki struktur mikro yang lebih padat membentuk lempengan-lempengan karena partikel tanah lempung yang berwarna putih mengikat partikel grafit yang berwarna hitam.
2. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan semakin lama waktu pengadukan komposisi grafit semakin berdistribusi merata dan menghasilkan campuran yang homogen sehingga nilai kuat tekan meningkat. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada waktu pengadukan 90 menit sebesar 16,56 MPa. Pada sampel ini dengan waktu pengadukan 90 menit grafit dapat berdistribusi merata dan menghasilkan campuran yang homogen sehingga memiliki struktur mikro yang lebih padat dan membentuk lempengan-lempengan karena partikel tanah lempung yang berwarna putih mengikat partikel grafit yang berwarna hitam.
3. Berdasarkan hasil pengamatan ukuran porositas dengan menggunakan SEM, bahwa penambahan grafit dapat mempengaruhi porositas dan nilai kuat tekan yang dihasilkan. Pada titik tertentu, terdapat titik jenuh dimana pada penelitian ini titik jenuh berada pada penambahan grafit 40% sehingga mengakibatkan pertumbuhan porositas yang lebih besar dengan nilai porositas tertinggi yakni 2.9 nm dan menyebabkan

menurunnya nilai kuat tekan yakni 14.32 MPa. Nilai tertinggi yakni pada penambahan grafit 30% dengan nilai porositas tertinggi yakni 1.61 nm dan nilai kuat tekan 16.56 MPa.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan variasi temperatur *sintering* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kuat tekan dan struktur mikro yang terbentuk.
2. Sebaiknya dilakukan proses pengadukan dengan durasi yang lebih lama, sehingga bisa didapatkan ukuran butir yang relatif seragam dan sebaran komposisi yang lebih homogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Sonya, A. ., Nuryadin, b. w, *et al.* (2009) 'Sintesis Keramik Berbasis Komposit Clay-Karbon dan Karakterisasi Kekuatan Mekaniknya', *Jurnal Nanosains & Nanteknologi*, 2(January 2014), pp. 83–89.
- Abidin, K. (2011) 'Uji Kekuatan Material Dengan Injeksi Zat Putih Telur', *Dinamika*, 02(April), pp. 27–33.
- Achmat, F., S, A. and Wisnumurti (2016) 'Kajian Bahan Dasar (Lempung) Terhadap Karakteristik Mekanik Batu Bata Yang Dihasilkan Dan Kesesuaian Fungsi Berdasarkan Diagram Winkler', *Jurnal Teknik Sipil*, pp. 1–9.
- Ailin *et al.* (2017) 'Studi Grafit Berdasarkan Analisis Petrografi dan Sem/Edx pada Daerah WindesiKabupaten Teluk Wondama , Provinsi Papua', *Prosiding Seminar Nasional XII 'Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi'*, pp. 185–191.
- Aminur, A. *et al.* (2020) 'Rancang Bangun Dan Uji Cobatungku Krusibel Dari Tabung Gas Bekas Dengan Menggunakan Sumber Panas Gas Lpg', *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 6(2), p. 118. doi: 10.31884/jtt.v6i2.258.
- ASTM C20-00 (2015) 'ASTM C20 - 00 "Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water"', *Refractory Standards*, (March), pp. 1–3. doi: 10.1520/C0020-00R15.2.
- Bayuseno, A. P. (2009) 'Pengembangan Dan Karakterisasi Material Keramik Untuk Dinding Bata Tahan Api Tungku Hoffman K1', *Rotasi*, 11(4), pp. 5–10.
- Bintang, A. P., Setyanto and Adha, I. (2012) 'Studi Pengaruh Penambahan Bahan Additive TX-300 Terhadap Kuat Tekan Batu Bata Pasca Pembakaran', *Teknik Sipil*, 1(1), pp. 381–390.
- Bisioni, A. B. D. M. D., Hamzah, M. S. and Sam, A. (2019) 'Sifat Kuat Tekan Dan Impak Komposit Abu Sekam Padi/Alumina', *Jurnal Mekanikal*, 10(1), pp. 955–969.
- Budiyanto, wahyu gatot *et al.* (2008) *Kriya Keramik*. 2nd edn. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

- Candra, A. I. *et al.* (2018) 'Studi Kasus Stabilitas Struktur Tanah Lempung Pada Jalan Totok Kerot Kediri Menggunakan Limbah Kertas', *Universitas Kadiri Riset Teknik Sipil*, 2(2), p. 11. doi: 10.30737/ukarst.v2i2.255.
- Effendi, M. D. (2010) 'Pemanfaatan Tungku Berbahan Bakar LPG dan Modifikasi Ruang Bakar Untuk Pembakaran Keramik Ukir Bergelasir', *Energi dan Lingkungan*, 6(1), pp. 1–6.
- Fládr, J. and Bilý, P. (2017) 'Influence Of Mixing Procedure On Mechanical Properties Of High-Performance Concrete', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 246(1), pp. 1–5.
- Gupta, C. (2016) *Fuels, Furnaces and Refractories*, Fuels, Furnaces and Refractories. PHI Learning. doi: 10.1016/c2013-0-02746-6.
- Hadi, Q. (2018) 'Pengaruh Pengadukan dengan Variasi Simple Padle Blade Terhadap Kehomogenan dan Sifat Mekanik Komposit Al-Fly-Ash dengan Metode Stir Casting Tanpa Pembasahan', *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(2), pp. 85–94.
- Harbison Walker (2005) 'Handbook of Refractory Practice', Refractories Company, Moon Township,
- Hardiyanti, H. *et al.* (2016) 'Karakterisasi Densitas Grafit Sebagai Kandidat Bahan Reaktor Temperatur Tinggi', 16, pp. 37–43. Available at: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/pin/article/view/3064>.
- Hidayat, W. (2019) 'Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material', *Material Teknik*, pp. 1–19. doi: 10.31227/osf.io/6bmfu.
- Huda, M. and Hastuti, E. (2012) 'Pengaruh Temperatur Pembakaran Dan Penambahan Abu Terhadap Kualitas Batu Bata', *Jurnal Neutrino*, 4(2), pp. 142–152. doi: 10.18860/neu.v0i0.1936.
- Husain, S., Haryanti, N. H. and Manik, T. N. (2016) 'Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Sifat Mekanik Keramik Berbahan Lempung Dan Abu Sekam Padi', *Jurnal Fisika Flux*, 13(1), pp. 1–10.
- Iyasara, A. C. *et al.* (2016) 'Influence of Grog Size on the Performance of NSU Clay-Based Dense Refractory Bricks', *American Journal of Materials Science and Engineering*, 4, pp. 7–12.
- Jamaludin, A. and Adiantoro, D. (2012) 'Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF)', *Issn 1979-2409*, 5(09), pp. 19–28.
- Krismanto, P. H. *et al.* (2020) 'Pengaruh Tekanan Terhadap Densitas, Pororsitas dan Struktur Mikro Kowi (Crucible) Berbahan Evaporation Boat, Kaolin,

Castbale, dan Abu Sekam Padi', *Jurnal Inovasi Mesin*, pp. 11–18.

Nurrohman, T. (2017) 'Uji Coba Tanah Liat Desa Mambang Kecamatan Plandaan Kabupaten Jombang untuk Keramik Bakaran Tinggi', *Jurnal Seni Rupa*, 5(2), pp. 337–346.

Ohji, T., Singh, M. and Mathur, S. (2011) *Advanced Processing and Manufacturing Technologies for Nanostructured and Multifunctional Materials*, Advanced Processing and Manufacturing Technologies for Nanostructured and Multifunctional Materials.

Rahmah, J., Hikmawati, D. and Siswanto (2015) 'Pengaruh Variasi Lama Waktu Pengadukan Pada Komposit Gelatin-Hidroksiapatit Bergentamisin Sebagai Bahan Implan Tulang', *ISSN 9*, 3(2), pp. 45–56.

Rahmawati, a. and Sunarsih, Dernawati sri (2015) 'Manfaat Penambahan Karbon Dari Material Limbah Pada Batu Bata Tradisional The Benefits Of Additional Carbon From Waste Materials In Traditional Brick', *Techno*, 16(2), pp. 98–109.

Rhomar, Z., Putra, A. and Astuti (2017) 'Sintesis Aluminium Matrix Composites (AMC) Berpenguat Sinter Silika dengan Metode Powder Metallurgy', *Jurnal Fisika Unand*, 6(2), pp. 101–106.

Ridayani, D., Malino, M. B. and Asri, A. (2017) 'Analisis Porositas dan Susut Bakar Keramik Berpori Berbasis Clay dan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit', *Prisma Fisika*, 5(2), pp. 51–54.

Rizal, Purwanto Dwi, Andre, Hermawan Budhi And Syaefani, Romadhon Arif (2019) 'Rancang Bangun Dapur Krusible Kapasitas Peleburan 20 Kg', *Teknik Mesin*, (71), pp. 1–5.

Rusiyanto *et al.* (2022) 'Pengaruh Durasi Pencampuran Terhadap Mechanical Properties Crucible', *Teknik Mesin*, (1), pp. 39–64.

Sari, desi riana *et al.* (2017) 'Pengaruh Thermal Shock Resistance Terhadap Makro Struktur Dan Ketahanan Impact Kowi Pelebur (Crusible) Berbahan Komposit Abu Sekam Padi/Grafit/Kaolin', *Jurnal Kompetensi Teknik*, 9(1), pp. 53–59.

Saukani, M. and Febrianti, R. (2016) 'Analisa Komposisi Fasa Lempung Kalimantan Selatan Berdasarkan Data Difraksi Sinar X', *Jurnal Fisika Flux*, 13(2), pp. 117–120.

Septriana, A., Azhar and Astuti, W. (2017) 'Daur Ulang Refraktori Bekas Pakai Kiln Dan Fly Ash Batu Bara Dengan Variasi Tekanan Greenbody', *Laboratorium Penelitian Dan Pengembangan Farmaka Tropis Fakultas Farmasi Universitas*

Mualawarman, Samarinda, Kalimantan Timur, 32(April), pp. 5–24.

Siagian, H. and Martha, H. (2012) ‘Studi Pembuatan Keramik Berpori Berbasis Clay dan Kaolin Alam dengan Aditif Abu Sekam Padi’, *Penelitian Sainstika (Sains, Tek ologi dan Rekayasa)*, 12(1), pp. 14–23.

SNI 1974:2011 (2011) ‘SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder’, *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, p. 20.

SNI 15-0255 (1984) ‘Cara penentuan susut kering bakar bahan mentah keramik’, *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.

Srisuwan, A. and Phonphuak, N. (2020) ‘Physical Property And Compressive Strength Of Fired Clay Bricks Incorporated With Paper Waste’, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 30(1), pp. 103–108.

Subiyanto, H. and Subowo (2003) ‘Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Sifat Mekanik Keramik Insulator Listrik’, *Jurnal Teknik Mesin*, 3(1), pp. 1–4.

Sulaeman, A. S., Arjo, S. and Maddu, A. (2019) ‘Sintesis dan Karakterisasi Silicon Carbide (SiC) dari Sekam Padi Menggunakan Metode Reduksi Magnesiotermik’, *Jurnal Fisika Flux*, 1(1), p. 47. doi: 10.20527/flux.v1i1.6146.

Suyanto, Sulardjaka and Sri, N. (2014) ‘Pengaruh Komposisi Mg Dan Sic Terhadap Sifat Kekerasan Komposit Alsi-Sic Yang Dibuat Dengan Proses Semi Solid Stir Casting’, *Prosiding Snatif*, (1), pp. 165–172.

Triyanto, S. *et al.* (2021) ‘Pengaruh Waktu Pecampuran Terhadap Kekerasan Vicker Material Crusible Berbahan Limbah Evaporation Boat Kaolin dan Seman Tahan Api’, *Teknik Mesin*, 12, pp. 325–330.

Tussniari, P. E. S., Adnyana, I. G. A. P. and Cingah, M. (2018) ‘Karakterisasi Porositas pada Body Keramik Stoneware Berbasis Lempung Kalimantan’, *Buletin Fisika*, 19, pp. 6–11.

Ubani, A. C. and Atanmo, P. N. (2021) ‘Effect of Granite , Kaolin Clay , Borosilicate Glass and Silicon Carbide in the Production of Graphite Crucibles’, *ISSN 2278-0182*, 10(December), pp. 51–56.

Wulan Sari, T. I., Muhsin, M. and Wijayanti, H. (2018) ‘Pengaruh Metode Aktivasi Pada Kemampuan Kaolin Sebagai Adsorben Besi (Fe) Air Sumur Garuda’, *Konversi*, 5(2), p. 20. doi: 10.20527/k.v5i2.4768.

Xu, M. *et al.* (2021) ‘Recent Advances And Challenges In Silicon Carbide (Sic) Ceramic Nanoarchitectures And Their Applications’, *Materials Today Communications*, 28(June 2021),

Yulianto, C., Setyawan, A. and Irnawan, D. (2022) 'Terhadap Sifat Mekanik Batu Bata Merah', 03(01), pp. 31–41.

Zamheri, A. (2011) 'Pengaruh Waktu Stirring, Fraksi Volume Dan Ukuran Besar Butir Partikel SiC Terhadap Kekerasan mmc Al 6061 – SiC Dengan Sistem Stir casting', *Jurnal Austenit*, 3, pp. 23–34.

Lampiran A
Contoh Perhitungan

1. Perhitungan Susut Bakar

- a. Sampel Komposisi Grafit 20% Waktu Pengadukan 30 menit

$$\% \text{Susut Bakar} = \frac{100,54 \text{ gr} - 92,95 \text{ gr}}{100,54} \times 100\% = 7,54\%$$

2. Perhitungan Hasil Porositas

- a. Sampel Komposisi Grafit 20% Waktu Pengadukan 30 menit

$$V = W - S$$

$$= 169,3 \text{ gr} - 75 \text{ gr} = 94,3 \text{ gram}$$

$$P = \frac{W - D}{V} \times 100\%$$

$$= \frac{169,3 \text{ gr} - 137,8 \text{ gr}}{94,3 \text{ gr}} \times 100\% = 33,40\%$$

3. Perhitungan Hasil kuat tekan

- a. Sampel Komposisi Grafit 20% Waktu Pengadukan 30 menit

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{34900 \text{ N}}{2500 \text{ mm}^2}$$

$$= 13,96 \text{ N/mm}^2$$

Lampiran B
Data Hasil Penelitian

1. Data Hasil XRF Tanah lempung

Tabel B. 1 Data Hasil XRF Tanah lempung

Komposisi	Kadar (%)
SiO ₂	56,895
Al ₂ O ₃	24,230
Fe ₂ O ₃	10,782
K ₂ O	2,824
TiO ₂	1,787
CaO	1,430
ZnO	0,122
PbO	0,131
Other	1,799

2. Data Hasil Pengujian Susut Bakar

Tabel B. 2 Hasil Pengujian Susut Bakar

No	Komposisi grafit %	Waktu Pengadukan (Menit)	Volume Sebelum Dibakar (cm ³)	Volume Setelah Dibakar (cm ³)	Susut bakar (%)
1	20	30	100,54	92,95	7,54%
2	20	60	101,19	93,57	7,53%
3	20	90	102,50	94,81	7,50%
4	30	30	100,54	95,44	5,07%
5	30	60	101,19	96,07	5,06%
6	30	90	102,50	97,33	5,04%
7	40	30	107,17	102,50	4,36%
8	40	60	107,85	103,16	4,35%
9	40	90	109,21	104,48	4,33%

3. Data Hasil Pengujian Porositas

Tabel B. 3 Data Hasil Pengujian Pororsitas

No	Komposisi (%)	Waktu pengadukan (menit)	Berat Awal (Gram)	Berat Dalam Air (Gram)	Berat Kering (Gram)	Pororsitas (%)
1	20%	30 menit	137,8	75	169,3	33,40%
2	20%	60 menit	132,9	80	156,8	31,12%
3	20%	90 menit	128,5	80	148,3	28,99%
4	30%	30 menit	128,4	70	152,2	28,95%
5	30%	60 menit	130,9	70	153,8	27,33%
6	30%	90 menit	128,1	75	145,7	24,89%
7	40%	30 menit	127,7	75	157,5	36,12%
8	40%	60 menit	135,3	75	167,2	34,60%
9	40%	90 menit	128,8	80	153,9	33,96%

4. Data Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel B.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan



HASIL UJI KUAT TEKAN BETON KURUS (SNI 1974:2011)

Penomoran : RAYHANO YARDYANA - MAHASISWA
 Proyek : PENELITIAN / RHD
 Suhu Ruang : 28,8 °C
 Kelembaban : 77 %
 No. Laporan : WKA/04/06/07/0/2022
 Tanggal : 16 Juni 2022
 Mutu beton : K ---

No.	Tanggal Pembuatan	Umur (hari)	Kode	Dimensi (cm)		Tinggi (cm)	Luas Penampang (A) (cm²)	Berat (G) (gr)	Berat Isi (gr/cm³)	Mutu Beton		Tegangan Benda Uji		Pektoran Umur 28 hari (kg/cm²)
				Slump (cm)	Penjang (cm)					Lebar (cm)	Tinggi (cm)	(f _c) (MPa)	(f _c) (kg)	
1	16-Jun-22		S1/T1	5	5	5	25,00	127,6	1,021	37,60	3,882,19	153,29	15,04	
2	16-Jun-22		S1/T2	5	5	5	25,00	117,9	0,943	41,40	4,219,49	168,78	16,56	
3	16-Jun-22		S1/T3	5	5	5	25,00	128,1	1,025	33,10	3,373,55	134,94	13,24	
4	16-Jun-22		S2/T1	5	5	5	25,00	133,5	1,068	51,50	5,248,88	209,96	20,60	
5	16-Jun-22		S2/T2	5	5	5	25,00	130,3	1,042	36,30	3,699,70	147,99	14,52	
6	16-Jun-22		S2/T3	5	5	5	25,00	128,3	1,026	26,40	2,690,69	107,63	10,56	
7	16-Jun-22		S3/T1	5	5	5	25,00	127,3	1,018	38,80	3,954,50	158,18	15,52	
8	16-Jun-22		S3/T2	5	5	5	25,00	137,5	1,100	34,90	3,557,01	142,28	13,96	
9	16-Jun-22		S3/T3	5	5	5	25,00	135,1	1,081	35,10	3,577,39	143,10	14,04	

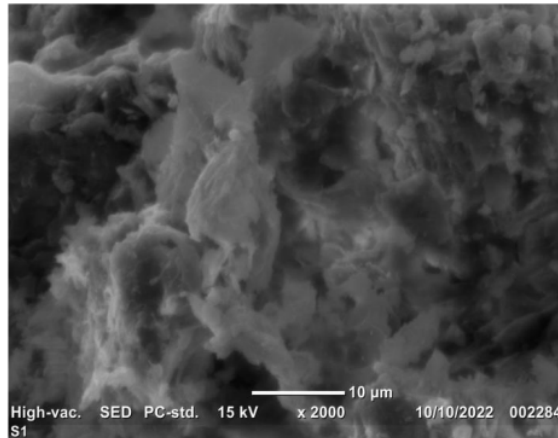
WKA/FS/4/01/04-012A
 Rev.00

Diterima		Diperiksa	
Tgl 16/6/22	Ttd Kusuma	Tgl 16/6/22	Ttd Wijaya
Manajer Teknis		Penyelia	
 Nama: Kusuma		 Nama: Wijaya	

PT WILAYA KARYA (Penero) Tbk

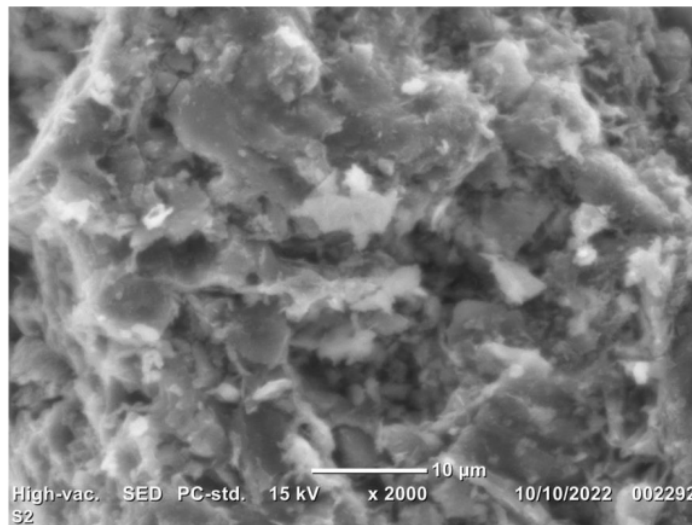
5. Data Hasil Pengujian SEM

- a. Sampel Komposisi Grafit 20% dengan waktu Pengadukan 90 menit



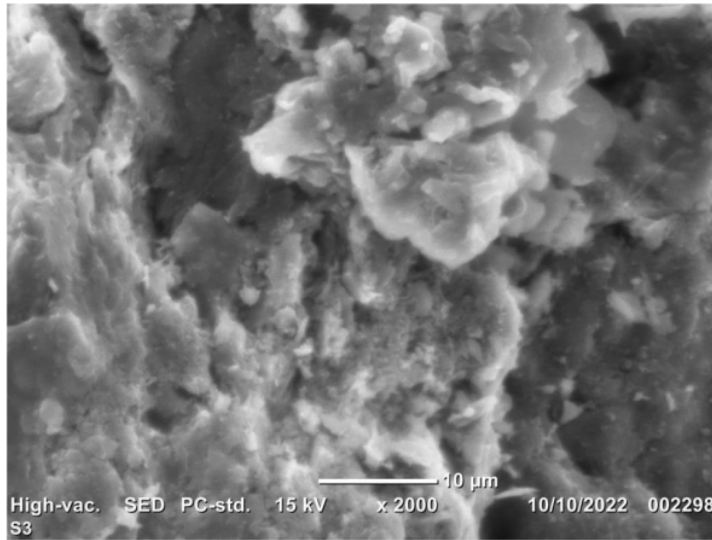
Gambar B.1 Hasil Pengujian SEM Komposisi Grafit 20% dengan waktu Pengadukan 90 menit

- b. Sampel Komposisi Grafit 30% dengan waktu Pengadukan 90 menit



Gambar B. 2 Hasil Pengujian SEM Komposisi Grafit 30% dengan waktu Pengadukan 90 menit

c. Sampel Komposisi Grafit 40% dengan waktu Pengadukan 90 menit



Gambar B.3 Hasil Pengujian SEM Komposisi Grafit 40% dengan waktu Pengadukan 90 menit

Lampiran C

Gambar Alat dan Bahan

C.1 Gambar Alat



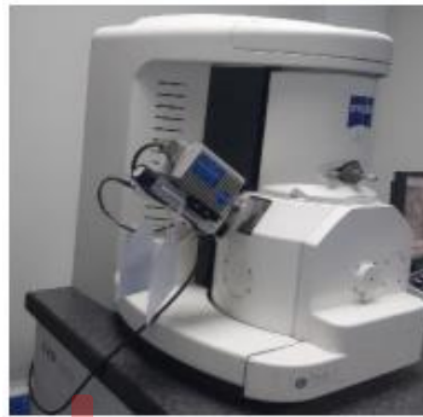
Gambar C.1 Alat Pelindung Diri.



Gambar C.2 ayakan.



Gambar C.3 Alat Uji Kuat Tekan.



Gambar C.4 Alat Uji SEM



Gambar C.5 Alat Uji XRF.



Gambar C.6 Mixer



Gambar C.7 Centong



Gambar C.8 Cetakan



Gambar C.9 Ember



Gambar C.10 Gunting



Gambar C.11 Jangka Sorong



Gambar C.12 Kompore.



Gambar C.13 Label



Gambar C.14 Muffle Furnace.



Gambar C.15 Nampan



Gambar C. 16 Neraca Dital.



Gambar C. 17 Oven.



Gambar C.18
Penggaris.



Gambar C.19 Selang



Gambar C.20 Sendok



Gambar C. 21 Timbangan Gantung Digital.



Gambar C.22 Tisu



Gambar C. 23 Wadah.

C.2 Gambar Bahan



Gambar C. 24 Air.



Gambar C. 25 Grafit.



Gambar C. 26 SiC.



Gambar C. 27 Tanah Lempung.



Gambar C. 28 Pelumas.

Cek Plagiasi Skripsi

ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

10%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	eprints.untirta.ac.id Internet Source	3%
2	digilib.unila.ac.id Internet Source	2%
3	bookchapter.unnes.ac.id Internet Source	1%
4	lib.unnes.ac.id Internet Source	1%
5	www.neliti.com Internet Source	1%
6	jurnal.unimed.ac.id Internet Source	1%
7	Submitted to Universitas Pamulang Student Paper	1%
8	docobook.com Internet Source	1%
9	repository.unj.ac.id Internet Source	1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On