

**PENAMBAHAN SERBUK KAYU DALAM  
PEMBUATAN KERAMIK BERPORI UNTUK  
BAHAN FILTER GAS BUANG MOTOR BENSIN**



**TUGAS AKHIR**

**Disusun sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana S-1 pada Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Semarang**

**Disusun oleh :**

**FAJAR WAHYURISTANTO**

**C2A012003**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG**

**2016**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir dengan judul “**Penambahan Serbuk Kayu Dalam Pembuatan Keramik Berpori Untuk Filter Gas Buang Motor Bensin**” ini disusun oleh :

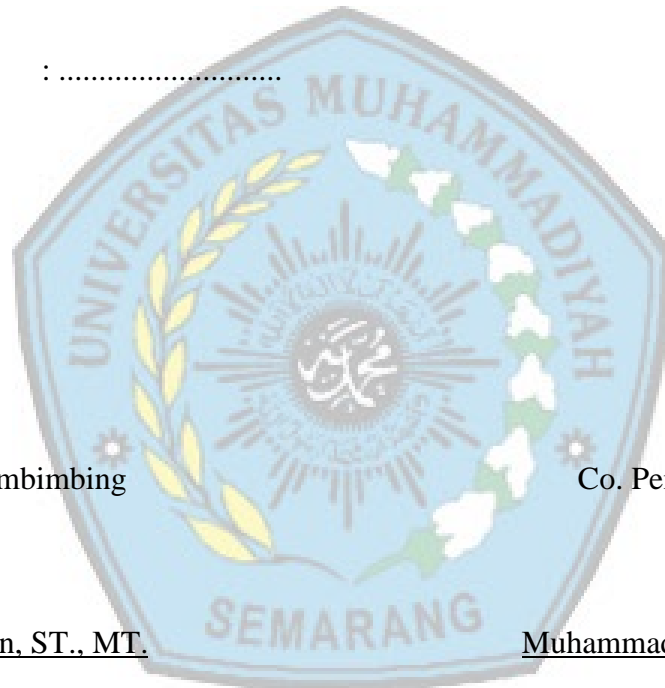
Nama : Fajar Wahyuristanto

NIM : C2A012003

Telah diperiksa dan disetujui pada

Hari : .....

Tanggal : .....



Dosen Pembimbing

Co. Pembimbing

Muh. Amin, ST., MT.

Muhammad Subri, ST., MT.

NIK. 028.06.1026.169

NIK. K.1026.064

Ka. Prodi Teknik Mesin UNIMUS

Rubijanto JP, ST., MT.

NIK. 28.6.1026.091

**ABSTRAK**

# **PENAMBAHAN SERBUK KAYU DALAM PEMBUATAN KERAMIK BERPORI UNTUK BAHAN FILTER GAS BUANG MOTOR BENSIN**

**Fajar Wahyuristanto**

**C2A012003**

Email : [Fajar\\_Wahyuristanto@yahoo.co.id](mailto:Fajar_Wahyuristanto@yahoo.co.id)

Pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia yang terus meningkat telah menyebabkan persoalan serius dalam hal pencemaran udara, karena tidak sebandingnya angka pertumbuhan jalan yang hanya 2% per tahun sedangkan pertumbuhan kendaraan yang mencapai 20% per tahun. dengan sendirinya polusi udara akibat dari emisi buang kendaraan bermotor menjadi tidak dapat terelakan lagi. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mereduksi emisi gas CO adalah dengan pemasangan Catalytic Converter yang dipasang pada system saluran pembuangan emisi gas. Dikembangkan pembuatan filter gas emisi kendaraan dengan memadukan antara meterial logam dan keramik dalam bentuk komposit sehingga memiliki kemampuan ganda yaitu sebagai katalis dan adsorben. Bahan katalis yang digunakan adalah Tembaga (Cu) dan Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ). Sedangkan bahan absorben adalah Clay Banjar Negara, Karbon Aktif serta sebagai perekat dan foaming agent *Poly Vinil Alcohol* (PVA), Serbuk Kayu. Komposisi Keramik Berpori 70% Clay, 10%, 10% PVA, 10%  $TiO_2$ , 0, 10, 20, 30, 40 % Tembaga (Cu), 20 % Serbuk kayu. Dengan pengujian *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS), Susut Bakar, Densitas, Porositas, *Scanning Electro Microscope* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD).

Kata Kunci : Katalis, Cu, Keramik Berpori, Karakteristik.

**ABSTRACT**  
**WOOD POWDER IN ADDITION POROUS CERAMIC MAKING**  
**MATERIALS FOR MOTOR FUEL FILTER EXHAUST**

**Fajar Wahyuristanto**

**C2A012003**

Email : [Fajar\\_Wahyuristanto@yahoo.co.id](mailto:Fajar_Wahyuristanto@yahoo.co.id)

The growth of motor vehicles increasing in Indonesia has caused serious problems in terms of air pollution , because not match the growth rate of only 2 % per year while the growth of the vehicle , which reached 20 % per year. naturally air pollution caused by emissions from motor vehicle exhaust can be no more inevitable. One technology that can be used to reduce CO emissions by installing catalytic converter is installed on the system sewer gas emissions. Developed gas filter manufacture vehicle emissions with a combination of metal and ceramic meterial in the form of a composite that has the ability to double that as catalysts and adsorbents. The catalyst material used is copper ( Cu ) and Titanium Dioxide ( TiO<sub>2</sub> ). While the absorbent material is Clay Banjar Negara, Activated Carbon as well as adhesives and foaming agent Poly Vinyl Alcohol ( PVA ), Wood Powder. Composition of Porous Ceramics Clay 70 % , 10 % , 10 % PVA , 10 % TiO<sub>2</sub>, 0 , 10 , 20 , 30 , 40 % Copper ( Cu ), 20 % Sawdust. By testing the Energy Dispersive X - Ray Spectroscopy ( EDS ), Losses Grill, Density, Porosity, Scanning Electro Microscope ( SEM ), X - Ray Difrraction ( XRD ).

Keywords : catalyst , Cu , Porous Ceramics , Characteristics



## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fajar Wahyuristanto

NIM : C2A012003

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini tidak merupakan jiplakan dan juga bukan merupakan karya dari orang lain.



Semarang, Agustus 2016

Yang bertandatangan

Fajar Wahyuristanto

## PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Semarang, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Semarang. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seijin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya. Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Tugas Akhir haruslah seijin pengelola Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang.



## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### Motto

*Yakin & Pasti*

### Persembahan

“Kupersambahkan Tugas Akhir ini untuk keluargaku tercinta”



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan petunjuk kepada kami. Sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“penambahan serbuk kayu dalam pembuatan keramik berpori untuk bahan filter gas buang motor bensin”** sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.

Harapan penulis Tugas Akhir ini dapat berguna dan membantu rekan-rekan mahasiswa yang membutuhkan serta dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.



Semarang, Agustus 2016

*Penulis*



## UCAPAN TERIMAKASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SAW atas berkah dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“penambahan serbuk kayu dalam pembuatan keramik berpori untuk bahan filter gas buang motor bensin”** sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.

Selama pelaksanaan Tugas Akhir ini penulis telah banyak mendapat bantuan dan dukungan yang sangat berarti dari berbagai pihak untuk itu penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih khususnya kepada :

- Keluarga terutama kepada Ibu, Ayah, Kakak dan Pona'an yang selalu memberikan motivasi dan semangat untuk menjalankan Tugas Akhir.
- Dr RM Bagus Irawan, S.T, M.Si, selaku dekan Fakultas Teknik UNIMUS.
- Bapak Rubijanto Juni Pribadi, S.T, M.T. selaku ketua program studi Teknik Mesin UNIMUS
- Muh Amin, S.T, M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir sekaligus sebagai pembimbing Tugas Akhir
- Muhammad Subri, S.T, M.T. selaku Co pembimbing Tugas Akhir.
- Seluruh dosen dan staf karyawan Universitas Muhammadiyah Semarang khususnya Fakultas Teknik Mesin.
- Saudara Khoirul Alfiani A. selaku teman Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian Tugas Akhir dan penyusunan laporan masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan selanjutnya. Semoga ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Semarang, Agustus 2016

Fajar Wahyuristanto  
C2A012003

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJIAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR</b> .....	vi
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Pembatasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Metode Pengumpulan Data.....	3
1.7 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Prinsip Dasar Keramik .....	5
2.2 Material Keramik Berpori .....	5
2.2.1 Lempung (Clay) .....	5
2.2.2 Karbon Aktif .....	6
2.3 Bahan Aditif Keramik .....	7
2.3.1 Tembaga (Cu) .....	7
2.3.2 Poly Vinil Alcohol (PVA).....	7

2.3.3	Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ) .....	8
2.3.4	Serbuk Kayu .....	8
2.4	Proses Pembentukan Keramik .....	9
2.5	Pembentukan Keramik .....	9
2.6	Karakteristik Dan Pengujian Mekanik .....	11
2.6.1	Uji Komposisi <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (EDS) .....	11
2.6.2	Uji Susut Bakar .....	12
	1. Susut Massa .....	12
	2. Susut Volume .....	13
2.6.3	Uji Densitas .....	13
2.6.4	Uji Porositas .....	14
2.6.5	Uji Foto Mikro .....	14
2.6.6	Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	14
2.6.7	Uji X-Ray Diffraction (XRD) .....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....		18
3.1	Bagan Alur Penelitian .....	18
3.2	Bahan Penelitian .....	19
3.2.1	Tembaga (Cu) .....	19
3.2.2	Clay .....	19
3.2.3	Karbon Aktif .....	20
3.2.4	Poli Vinnil Alkohol (PVA) .....	20
3.2.5	Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ) .....	21
3.2.6	Serbuk Kayu .....	22
3.3	Alat-Alat yang Digunakan .....	22
3.3.1	Penggerus .....	22
3.3.2	Mesh .....	23
3.3.3	Gelas Ukur .....	23
3.3.4	Mixing .....	24
3.3.5	Cetakan .....	24
3.3.6	Press .....	25
3.3.7	Furnace .....	25
3.3.8	Naraca .....	26

3.3.9	Jangka sorong.....	27
.....		
3.4	Proses Pembuatan Keramik Berpori.....	28
3.5	Komposisi Keramik Berpori.....	28
3.6	Karakterisasi .....	29
3.6.1	Uji Komposisi kimia <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (EDS) ...	29
3.6.2	Susut Bakar .....	30
	1. Susut Massa.....	30
	2. Susut Volume .....	30
3.6.3	Densitas .....	30
3.6.4	Porositas .....	30
3.6.5	Foto Mikro.....	30
3.6.6	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	32
3.6.7	<i>X-ray Diffraction</i> (XRD).....	33
.....		
3.7	Teknik Analisis Data .....	33
<b>BAB IV HASIL UJI DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>34</b>
4.1	Uji Komposisi kimia <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (EDS).....	34
4.2	Hasil Pembuatan Keramik Berpori .....	35
4.3	Susut Bakar .....	35
	1. Susut Massa.....	35
	2. Susut Volume.....	39
4.4	Densitas.....	43
4.5	Porositas.....	47
4.6	Uji Foto Mikro.....	49
4.7	Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	52
4.8	X-Ray Diffraction (XRD).....	55
.....		
<b>BAB V KESIMPULA DAN SARAN .....</b>		<b>61</b>
5.1	Kesimpulan .....	61
5.2	Saran.....	62

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.5	Proses Penggilingan.....	10
Gambar 2.6	Proses <i>Meshing</i> .....	10
Gambar 2.7	Proses <i>Mixing</i> .....	10
Gambar 2.8	Proses Pencetakan.....	11
Gambar 2.9	Proses Sintering.....	11
Gambar 3.2	Tembaga (Cu).....	19
Gambar 3.3	Clay.....	20
Gambar 3.4	Karbon Aktif.....	20
Gambar 3.5	<i>poly vinyl Alcohol (PVA)</i> .....	21
Gambar 3.6	Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ).....	21
Gambar 3.7	Serbuk Kayu.....	22
Gambar 3.8	Penggerus.....	23
Gambar 3.9	Mesh.....	23
Gambar 3.10	GelasUkur.....	24
Gambar 3.11	<i>Mixing</i> .....	24
Gambar 3.12	Cetakan.....	25
Gambar 3.13	Press.....	25
Gambar 3.14	Furnace.....	26
Gambar 3.15	Neraca.....	27
Gambar 3.16	Jangka Sorong.....	27
Gambar 3.17	Alat Uji SEM-EDS.....	29
Gambar 3.18	Mikroskop.....	31
Gambar 3.19	Alat <i>Coating</i> SEM.....	32
Gambar 4.1	Keramik Berpori.....	35
Gambar 4.2	Grafik Susut Massa terhadap Penambahan Temperatur 800°c.....	36
Gambar 4.3	Grafik Susut Massa terhadap Penambahan Temperatur 900°c.....	36
Gambar 4.4	Grafik Susut Massa terhadap Penambahan Temperatur 1000°c.....	37
Gambar 4.5	Grafik Susut Massa penambahan Serbuk Kayu 0% terhadap variasi temperatur.....	38
Gambar 4.6	Grafik Susut Massa penambahan Serbuk Kayu 10% terhadap variasi temperatur.....	38

Gambar 4.7	Grafik Susut Massa penambahan Serbuk Kayu 20% terhadap variasi temperatur.....	39
Gambar 4.8	Grafik Susut Volume terhadap Penambahan Temperatur 800°C.....	40
Gambar 4.9	Grafik Susut Volume terhadap Penambahan Temperatur 900°C.....	40
Gambar 4.10	Grafik Susut Volume terhadap Penambahan Temperatur 1000°C.....	41
Gambar 4.11	Grafik Susut Volume penambahan Serbuk Kayu 0% terhadap Variasi temperatur.....	42
Gambar 4.12	Grafik Susut Volume penambahan Serbuk Kayu 10% terhadap Variasi temperatur.....	42
Gambar 4.13	Grafik Susut Volume penambahan Serbuk Kayu 20% terhadap Variasi temperatur.....	43
Gambar 4.14	Grafik Densitas terhadap Penambahan Temperatur 800°C.....	44
Gambar 4.15	Grafik Densitas terhadap Penambahan Temperatur 900°C.....	44
Gambar 4.16	Grafik Densitas terhadap Penambahan Temperatur 1000°C.....	45
Gambar 4.17	Grafik Densitas penambahan Serbuk Kayu 0% terhadap Variasi temperatur.....	46
Gambar 4.18	Grafik Densitas penambahan Serbuk Kayu 10% terhadap Variasi temperatur.....	46
Gambar 4.19	Grafik Densitas penambahan Serbuk Kayu 20% terhadap Variasi temperatur.....	47
Gambar 4.20	Grafik Porositas penambahan Serbuk Kayu 0% terhadap Variasi temperatur.....	48
Gambar 4.21	Grafik Porositas penambahan Serbuk Kayu 10% terhadap Variasi temperatur.....	48
Gambar 4.22	Grafik Porositas penambahan Serbuk Kayu 20% terhadap Variasi temperatur.....	49
Gambar 4.23	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 0% (a) 100X...	50
Gambar 4.24	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 10% (a) 100X.	50
Gambar 4.25	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 20% (a) 100X.	51
Gambar 4.26	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 30% (a) 100X.	51
Gambar 4.27	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 40% (a) 100X.	52
Gambar 4.28	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 0% 5.000X...	53
Gambar 4.29	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 10% 5.000X...	53

Gambar 4.30	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 20% 5.000X...	54
Gambar 4.31	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 30% 5.000X...	54
Gambar 4.32	Foto Morfologi Sampel Keramik Paduan Tembaga (Cu) 40% 5.000X...	55
Gambar 4.32	Grafik Pengujian XRD Dengan Aditif 0% Tembaga (Cu).....	56
Gambar 4.32	Grafik Pengujian XRD Dengan Aditif 10% Tembaga (Cu).....	57
Gambar 4.32	Grafik Pengujian XRD Dengan Aditif 20% Tembaga (Cu).....	58
Gambar 4.32	Grafik Pengujian XRD Dengan Aditif 30% Tembaga (Cu).....	59
Gambar 4.32	Grafik Pengujian XRD Dengan Aditif 40% Tembaga (Cu).....	60



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi Bahan Dasar dan Aditif .....	30
Tabel 4.1 Hasil Analisa Kandungan Unsur Bahan Keramik Berpori. ....	35





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Pengukuran Total Susut Bakar T 800°C .....	
Lampiran 2 Tabel Pengukuran Total Susut Bakar T 900°C .....	
Lampiran 3 Tabel Pengukuran Total Susut Bakar T 1000°C .....	
Lampiran 4 Dokumentasi .....	
Lampiran 5 Tabel Pengukuran Susut Bakar T 800°C .....	
Lampiran 6 Tabel Pengukuran Susut Bakar T 900°C .....	
Lampiran 7 Tabel Pengukuran Susut Bakar T 1000°C .....	
Lampiran 8 Hasil Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	
Lampiran 9 Hasil Uji Foto Mikro .....	
Lampiran 10 Hasil Uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	



## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

%	: Persen	$O_2$	: Dioksida
$mm^3$	: Mili meter kubik	$\pm$	: Lebih kurang
Al	: Alumina	BSE	: Back-Scattered electron
$^{\circ}C$	: Celsius	C	: Carbon
$CO_2$	: Carbon dioksida	Ca	: Kalsium
cc	: cubic centimeter	Cl	: Klor
CO	: Carbon monoksida	Cu	: Tembaga
CuZn	: Kuningan	Ti	: Titanium
Fe	: Besi	gr	: Gram
H	: Hidrogen	HC	: Hidrokarbon
K	: Kalium	Kv	: kilo volt
mA	: Mili Amper	Mg	: Magnesium
ml	: Mili liter	mm	: Mili meter
Mpa	: Mega pascal	$NO_2$	: Nitrogen dioksida
$NO_x$	: Nitrogen oksida	Na	: Natrium
NDIR	: Non Dispersive Infrared	nm	: nano meter
NO	: Nitrogen oksida	O	: Oksigen
Pb	: Timbal	PPm	: Part per million
PVA	: Poly vinyl alkohol	Rpm	: Radial per minute
$SO_2$	: Sulfur dioksida	SEI	: Secandary electron imaging
Si	: Silika	$TiCl_2$	: Titanium Tetraklorida
$TiO_2$	: Titanium dioksida	WD	: Working distance
Zn	: Seng	$ZrO_2$	: Zirkonia
$\mu m$	: mikro meter	$\rho$	: Berat jenis
EDS	: Energy dispersive X-ray spectroscopy		
SEM	: <i>Scanning Electron Microscope</i>		

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.8 Latar Belakang

Pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia yang terus meningkat telah menyebabkan persoalan serius dalam hal pencemaran udara. Hal ini disebabkan karena tidak sebandingnya angka pertumbuhan jalan yang hanya 2% per tahun jauh sekali dengan angka pertumbuhan kendaraan bermotor yang mencapai 20% per tahun. Pertumbuhan tersebut jelas akan membawa pengaruh meningkatnya pemakaian bahan bakar minyak dan dengan sendirinya polusi udara akibat dari emisi buang kendaraan bermotor menjadi tidak dapat terelakan lagi (**Irawan. B. RM, 2009**).

Polutan yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor antara lain karbon monoksida (CO), nitrogen oksida ( $NO_x$ ), hidrokarbon (HC), sulfur dioksida ( $SO_2$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ) (**Sengkey. S. L, dkk, 2011**). Polutan CO yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor memberi dampak negatif bagi kesehatan manusia. Karbon monoksida merupakan bahan pencemar berbentuk gas yang sangat beracun (**Sengkey. S. L, dkk, 2011**). Polutan Nitrogen Oksida ( $NO_x$ ), terdiri dari  $NO_2$  dan NO. Sifat nitrogenoksida (NO) tidak berwarna, relatif tidak membahayakan tetapi di atmosfer berlebihan menjadi nitrogen oksida  $NO_2$  yang berbahaya,  $NO_2$  bereaksi dengan air di atmosfer membentuk asam nitrat yang menyebabkan korosi pada permukaan logam. Pengaruh terhadap lingkungan kadar  $NO_2$  empat kali lebih tinggi dibanding NO dan CO menyebabkan gangguan pernafasan yang merusak jaringan paru-paru (**Ellyanie, 2011**). Sedangkan hidrokarbon (HC) dalam jumlah sedikit tidak membahayakan kesehatan manusia, walaupun bersifat toksik, kecuali dalam jumlah banyak di udara dan tercampur dengan bahan pencemar lain maka sifat toksiknya akan meningkat, dalam keadaan gas HC dapat menyebabkan infeksi paru-paru bila terhirup (**Sugiarti, 2009**). Sedangkan Timbal (Pb) dapat mengakibatkan keracunan, keracunan akibat timbal dapat menyebabkan gangguan anatomi tubuh (**Naria. E, 2005**). Polutan Karbondioksida ( $CO_2$ ), merupakan gas buang yang tidak berwarna dan tidak berbau, mudah larut dalam air. Gas  $CO_2$  yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global (**Ellyanie, 2011**).

## 1.9 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut bagaimana cara menurunkan kadar emisi gas buang pada kendaraan bermotor yang dapat menyebabkan polusi udara dan gangguan kesehatan.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mereduksi emisi gas CO adalah dengan pemasangan Catalytic Converter yang dipasang pada sistem saluran pembuangan emisi gas. Penelitian terdahulu menjelaskan bahwa katalis berbahan Tembaga dapat digunakan untuk mereduksi emisi gas buang Carbon Monoksida untuk berbagai variasi putaran mesin dan variasi jumlah sel katalis (Irawan. B. RM, 2009).

Oleh karena itu pada penelitian kali ini dikembangkan pembuatan filter gas emisi kendaraan dengan memadukan antara material logam dan keramik dalam bentuk komposit sehingga memiliki kemampuan ganda yaitu sebagai katalis dan adsorben. Bahan katalis yang digunakan adalah Tembaga (Cu) dan Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ). Sedangkan bahan adsorben adalah Clay Banjar Negara, Karbon Aktif serta sebagai perekat dan foaming agent *Poly Vinil Alcohol* (PVA), dan Serbuk Kayu.

## 1.10 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan :

1. Membuat dan menentukan komposisi bahan keramik berpori dengan bahan dasar Clay dari Banjar Negara, Karbon Aktif, Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ), *Poly Vinil Alcohol* (PVA), Serbuk Kayu, serta penambahan bahan aditif Tembaga (Cu) yang optimal sebagai filter gas emisi pada motor bensin.
2. Mengetahui unsur bahan dengan pengujian EDS, XRD.
3. Mengetahui sifat fisik keramik berpori dengan pengukuran Susut Bakar, Densitas, Porositas.
4. Mengetahui struktur mikro keramik berpori dengan pengujian Foto Mikro, SEM.

### 1.11 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini yang menjadi batasan masalah adalah pembuatan dan karakterisasi bahan keramik berpori Clay Banjar Negara, PVA, Karbon Aktif dan  $TiO_2$ , Serbuk Kayu dengan bahan aditif Tembaga melalui pengujian susut bakar, densitas, porositas, EDS, SEM, XRD, Foto Mikro.

### 1.12 Manfaat Penelitian

Terbentuknya keramik berpori sebagai filter gas emisi kendaraan bermotor diharapkan dapat mengurangi polutan yang dihasilkan dari proses pembakaran kendaraan bermotor antara lain karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida ( $CO_2$ ) yang dapat mengganggu sistem pernafasan pada manusia dan mengakibatkan terjadinya pemanasan global.

### 1.13 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir adalah :

1. Metode Pengamatan ( *Observasi* )  
Yaitu metode pengumpulan data langsung dari cara pembuatan material keramik berpori, berbahan dasar Clay Banjar Negara, PVA, Karbon Aktif dan  $TiO_2$  dengan bahan aditif Tembaga.
2. Metode Wawancara ( *Interview* )  
Yaitu metode pengumpulan data dengan cara tanya jawab secara langsung dengan cara melakukan wawancara dengan pihak-pihak yang terkait langsung dengan operator lab penelitian.
3. Metode Kepustakaan ( *Study Literatur* )  
Yaitu metode yang peneliti terapkan dengan cara melakukan pencarian data ke perpustakaan dan buku-buku yang berkaitan dengan masalah yang peneliti ambil. Dengan melalui metode ini peneliti mendapatkan petunjuk dan referensi mengenai langkah-langkah yang harus di lakukan dalam pembuatan laporan penelitian.

### **1.14 Sistematika Penulisan**

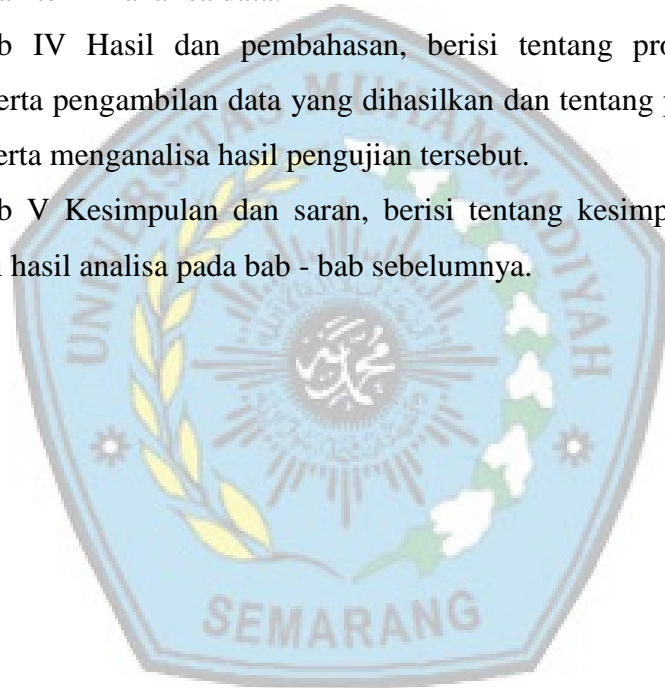
Sistematika dalam penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu: Bab I Pendahuluan, berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, manfaat penelitian, metode pengumpulan data, dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan pustaka berisi tentang landasan teori, prinsip dasar keramik, material keramik berpori, pembentukan keramik, karakteristik dan pengujian mekanik.

Bab III Metode penelitian, berisi tentang bagan alur penelitian, alat dan bahan penelitian, proses pembuatan keramik berpori, karakterisasi, variabel penelitian dan teknik analisa data.

Bab IV Hasil dan pembahasan, berisi tentang proses pengujian yang dilakukan serta pengambilan data yang dihasilkan dan tentang pengolahan data hasil pengujian serta menganalisa hasil pengujian tersebut.

Bab V Kesimpulan dan saran, berisi tentang kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil analisa pada bab - bab sebelumnya.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.7 Prinsip Dasar Keramik**

Keramik pada awalnya berasal dari bahasa Yunani *keramikos* yang artinya suatu bentuk dari tanah liat yang telah mengalami proses pembakaran.

Kamus dan ensiklopedia tahun 1950-an mendefinisikan keramik sebagai suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselin, dan sebagainya. Tetapi saat ini tidak semua keramik berasal dari tanah liat. Definisi pengertian keramik terbaru mencakup semua bahan bukan logam dan anorganik yang berbentuk padat.

Keramik adalah material anorganik dan non-metal. Umumnya keramik adalah senyawa antara logam dan non logam. Untuk mendapatkan sifat-sifat keramik biasanya diperoleh dengan pemanasan pada suhu tinggi. Keramik mempunyai sifat rapuh, keras, dan kaku. Sifat bahan keramik ini sangat tergantung pada ikatan kimianya. Dalam proses pembuatan keramik biasanya digunakan aditif untuk mempermudah proses pencetakan dan untuk membantu mengontrol microstructure dari material yang dihasilkan (Asyari, D.A, 2012).

Material keramik yang digunakan sebagai spesimen tergantung pengaplikasian filter terhadap apa yang harus disaring. Untuk menyaring gas (gas buang) dari kendaraan bermotor, maka harus menggunakan material keramik yang tahan suhu tinggi. Oleh karena gas buang yang disaring umumnya mempunyai suhu relatif tinggi, yaitu sekitar (500-800) °C (Gade. M, 2012).

#### **2.8 Material Keramik**

##### **2.8.1 Lempung (Clay)**

Lempung atau tanah liat adalah partikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer. Lempung mengandung leburan silika dan/atau aluminium yang halus. Unsur-unsur ini, silikon, oksigen, dan aluminium adalah unsur yang paling banyak menyusun kerak bumi. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi.

Lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasi. Mineral lempung digolongkan berdasarkan susunan lapisan oksida silikon dan oksida aluminium yang membentuk kristalnya. Golongan 1:1 memiliki lapisan satu oksida silikon dan satu oksida aluminium, sementara golongan 2:1 memiliki dua lapis golongan oksida silikon yang mengapit satu lapis oksida aluminium. Mineral lempung golongan 2:1 memiliki sifat elastis yang kuat, menyusut saat kering dan memuai saat basah. Karena perilaku inilah beberapa jenis tanah dapat membentuk kerutan-kerutan atau "pecah-pecah" bila kering.

Pada umumnya ada 2 jenis lempung, yaitu (Puspitasari, D, 2013) :

1. *Ball clay*, ini digunakan pada keramik putih karena memiliki plastisitas tinggi dengan tegangan patah tinggi serta tidak pernah digunakan sendiri. Tanah jenis ini disebut tanah liat sedimen, memiliki butiran halus dan berwarna abu-abu.
2. *Fire clay*, jenis tanah ini biasanya berwarna terang ke abu-abu gelap menuju hitam *fire clay* diperoleh dari alam dalam bentuk bongkahan yang menggumpal dan padat. Tanah jenis ini tanah dibakar pada suhu tinggi tanpa mengubah bentuknya. Ada 3 jenis *fire clay*, yaitu *flin fire clay* yang memiliki struktur kuat, *plastic fire clay* yang memiliki kemampuan kerja yang baik, serta *high alumuna clay* yang sering digunakan sebagai refraktori dan bahan tahan api.

### 2.8.2 Karbon aktif

Karbon aktif merupakan karbon amorf dari pelat-pelat datar disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya yang luas permukaan berkisar antara 300 m<sup>2</sup> /g hingga 3500 m<sup>2</sup> /g dan ini berhubungan dengan struktur pori internal sehingga mempunyai sifat sebagai adsorben (Taryana, M. 2002)

Secara umum, ada dua jenis karbon aktif yaitu karbon aktif fasa cair dan karbon aktif fasa gas. Karbon aktif fasa cair dihasilkan dari material dengan berat jenis rendah, seperti arang dari bambu kuning yang mempunyai bentuk butiran (powder), rapuh (mudah hancur), mempunyai kadar abu yang tinggi berupa silika dan biasanya digunakan untuk menghilangkan bau, rasa, warna, dan kontaminan organik lainnya. Sedangkan karbon aktif fasa gas dihasilkan dari material dengan berat jenis tinggi (Ramdja, Fuadi, A. 2008)



Karbon aktif memiliki fungsi antara lain, misalnya pada proses pengolahan air, karbon aktif berfungsi untuk menghilangkan polutan seperti seng, timbal, kuprum, krom, besi, timbah, dan uam amonia. Karbon aktif juga berfungsi dalam pemurnian gas seperti dengan cara desulfurisasi dan menyerap gas baracun dan bau busuk, selain itu, karbon aktif juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan gas hydrogen dan gas metana (*adsorptive gas storage*) (Shofa, 2012). Kemampuan karbon aktif mengadsorpsi ditentukan oleh struktur kimianya yaitu atom C, H, dan O yang terikat secara kimia membentuk gugus fungsional. Gugus fungsional ini membuat permukaan karbon aktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorpsinya (Miranti. S. T, 2012).

## **2.9 Bahan Aditif Keramik**

### **2.9.1 Tembaga (Cu)**

Tembaga adalah unsur kimia dengan nomor atom 29 merupakan unsur logam, dengan warna kemerahan. Tembaga termasuk logam berat non ferrous karena tidak memiliki kandungan Fe. Tembaga merupakan konduktor listrik dan panas yang baik dan memiliki keuletan serta ketahanan korosi yang baik. Dalam bidang industri tambaga biasanya digunakan sebagai bahan untuk kabel listrik dan kumparan dinamo. Serbuk tembaga juga digunakan sebagai katalisator untuk mengoksidasi methanol menjadi metanal (Fachrunnisa. Andi, 2013). Tembaga mempunyai titik lebur pada temperatur 1085°C. ( Cahyono. D.P, 2014)

### **2.9.2 Poly Vinil Alcohol (PVA).**

Polivinil alkohol adalah salah satu polimer yang bersifat dapat larut dalam air. Polivinil alkohol pertama kali ditemukan oleh Haehnel dan Herrman melalui reaksi adisi alkali pada larutan bening alkohol polivinil asetat yang kemudian menghasilkan larutan berwarna coklat muda yang kemudian diketahui merupakan polivinil alkohol. Polivinil alkohol kemudian diperkenalkan pertama kali secara komersial pada tahun 1927.

Berbagai bentuk polivinil alkohol (PVA) digunakan sebagai bahan aditif dalam proses-proses sintesis produk kimia. Kegunaan utama dari PVA adalah sebagai bahan adesif (perekat), sebagai protective colloid bagi proses emulsi polimerisasi serat, bahan pembuat polivinil butiral, serta sebagai pelapis kertas.

Sifat fisis dari PVA ditentukan oleh kondisi polimerisasi dari poli(vinil asetat), kondisi pada saat hidrolisis, proses pengeringan, dan proses penggilingan. Polivinil alkohol dalam kondisi ruangan berbentuk bubuk putih dengan titik lebur berkisar antara 220 C-267 C. Polivinil alkohol larut pada pelarut yang bersifat polar seperti air (**Discha. F. E dan Rahmania. A, 2014**).

### **2.3.3 Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ).**

Titanium adalah sebuah unsur kimia dalam periodik yang memiliki simbol Ti dan nomor atom 22 yang ditemukan pada tahun 1791 tetapi tidak diproduksi secara komersial hingga tahun 1950-an. Titanium ditemukan di Inggris oleh William Gregor dalam 1791 dan dinamai oleh Martin Heinrich Klaproth untuk Titan dari mitologi Yunani. Titanium merupakan logam transisi yang ringan, kuat, tahan korosi termasuk tahan air laut dan chlorine dengan warna putih-metalik-keperakan. Salah satu karakteristik titanium yang paling terkenal yaitu bersifat sama kuat dengan baja tetapi beratnya hanya 60% dari berat baja (**Fahmi. M, 2015**)

Titanium Dioksida ( $TiO_2$ ) juga bisa disebut titanium (IV) oksida merupakan bentuk oksida dari titanium secara kimia dapat ditulis ( $TiO_2$ ). Senyawa ini di manfaatkan secara luas dalam bidang anatas sebagai pigmen, bakterisida, pasta gigi, fotokatalis dan elektroda dalam sel surya. Sifat senyawa  $TiO_2$  adalah densitas 4  $gr/cm^{-3}$ , porositas 0%, modulus rekah 140 Mpa, kekuatan kemampatan 680 Mpa, titik lebur 1830-1850 °C dan titik didih 2500-3000 °C, tidak tembus cahaya, mempunyai warna putih, lembam, tidak beracun, dan harganya relatif murah (**Susanti, 2012**).

### **2.3.4 Serbuk Kayu**

Serbuk gergaji atau serbuk kayu merupakan limbah industri penggergajian kayu. Selama ini limbah serbuk kayu banyak menimbulkan masalah dalam penanganannya yang selama ini dibiarkan membusuk, ditumpuk dan dibakar yang kesemuanya berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga penanggulangannya perlu dipikirkan.

Namun, serbuk kayu dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran untuk membuat keramik berpori, karena sifatnya yang rapuh dan mudah terbakar jika dalam temperatur yang tinggi.

## 2.10 Proses Pembuatan Keramik

Proses pembuatan keramik berpori adalah dengan cara menggunakan partikel halus yang dicampur dengan pengikat, yang kemudian diproses dengan pembakaran. Terhadap proses terbentuknya keramik adalah sebagai berikut: secara disosiasi yaitu proses peruraian bahan menjadi penyusun-penyusunnya karena perlakuan panas.

Sintering atau pembakaran merupakan suatu proses perlakuan panas yang mengubah massa serbuk menjadi massa yang kohesif tanpa terjadi pengembangan massa. Tujuan sintering yaitu untuk mengurangi porositas padatan. Selama tahap awal sintering, terjadi peleburan tanpa penyusutan padatan dan pembentukan leher (*necking*) yang menghasilkan cekungan (Ilcham. A, dkk, 2013).

Sebelum disintering, material keramik harus terlebih dahulu dicetak. proses pencetakan antara lain : penggilingan, *meshing*, *mixing*, pencetakan, sintering.

## 2.11 Pembentukan Keramik

Pembuatan keramik dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu :

### 1. Penggilingan

Pada proses ini bahan-bahan yang akan dijadikan keramik berpori dihaluskan hingga berbentuk serbuk.



Gambar 2.5 Proses Penggilingan

## 2. *Meshing*

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan serbuk keramik dengan ukuran yang telah ditentukan.



Gambar 2.6 Proses *Meshing*

## 3. *Mixing*

*Mixing* pada proses ini bertujuan untuk mencampurkan bahan-bahan yang telah dipersiapkan pada tahap-tahap sebelumnya.



Gambar 2.7 Proses *Mixing*

## 4. Pencetakan

Proses ini bertujuan untuk mendapatkan bentuk padat yang cukup kuat dengan tekanan tertentu.



Gambar 2.8 Proses Pencetakan

## 5. Sintering

Pada proses ini bertujuan untuk pembakaran keramik berpori yang telah di proses sebelumnya dengan suhu tertentu.



Gambar 2.9 Proses Sintering

## 2.12 Karakteristik dan Pengujian Mekanik

### 2.12.1 Uji Komposisi *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS)

Energy Dispersion X-ray (EDS atau EDX) adalah sebuah analisis yang digunakan untuk menganalisa unsur atau karakterisai kimia dari sampel. (Oktaviawan. N.A, 2010).

Mekanisme kerja detektor EDS X-ray mengukur emisi abundance relatif sinar  $\gamma$  versus energinya. Untuk merangsang karakteristik emisi sinar-x karakteristik

dari spesimen, sebuah balok energi tinggi partikel-partikel bermuatan seperti elektron atau proton, sinar X-ray, difokuskan ke sampel yang sedang dipelajari. (Oktaviawan. N.A, 2010).

Senyawa atau fasa yang terdapat pada sampel dapat diidentifikasi secara kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan peralatan *X-ray Diffraction*. Prinsip dasar kerja dari peralatan ini adalah dengan menembakkan sinar-X dengan panjang gelombang tertentu dari berbagai arah sudut penembakan kepada sampel, kemudian pantulkan sinar-X tadi ditangkap oleh detektor dan selanjutnya dikonversikan menjadi data output berupa grafik  $2\theta$  versus intensitas (Syakur. A, 2008).

### 2.12.2 Uji Susut Bakar

Penyusutan terjadi akibat menurunnya porositas dimana keporian terisi oleh bahan-bahan yang mudah melebur, penyusutan suatu produk erat kaitannya dengan proses pembuatan (*fabrication*) bahan tersebut. Suhu pembakaran sangat berpengaruh terhadap penyusutan. Semakin tinggi temperatur pembakaran yang diberikan terhadap bahan maka keporian akan semakin tertutupi oleh bahan yang mudah melebur sehingga terjadi penyusutan yang semakin besar, selain temperatur terdapat faktor lain yang mempengaruhi penyusutan tersebut (Tambunan. T. D., 2008).

Faktor-faktor lain yang mempengaruhi penyusutan antara lain :

- a. Pembentukan.
- b. Lama pembakaran.
- c. Ukuran butiran, komposisi, dll.

#### 1. Susut massa

Perhitungan susut massa dilakukan berdasarkan persentase penurunan berat bahan sejak awal hingga akhir pembakaran. Susut Massa dihitung menggunakan persamaan (2.1) (Nasution. I. S, dkk, 2012) :

$$\% \text{ susut massa} = \frac{(\text{berat awal} - \text{berat akhir})}{\text{berat awal}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana : Berat awal sebelum dibakar (gr)

Berat akhir sesudah dibakar (gr)

Susut bakar umumnya terjadi akibat hilangnya air karena penguapan dan terjadinya reaksi zat aditif di dalam keramik dan butiran kecil menyatu aktif terhadap butiran besar (Sihite. D. R, 2008).

## 2. Susut Volume

Susut volume adalah persentase penyusutan volume sebelum dan sesudah pembakaran. Dapat dirumuskan pada persamaan (2.2) (Ginting. J. H, dkk, 2012) :

$$\text{Susut \%} = \frac{\text{Dimensi awal} - \text{Dimensi akhir}}{\text{Dimensi awal}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : Dimensi awal ( $mm^3$ )

Dimensi akhir ( $mm^3$ )

### 2.12.3 Uji Densitas

Salah satu sifat fisik dari suatu benda adalah densitas atau rapat massa. Densitas bahan merupakan suatu parameter yang dapat memberikan informasi keadaan fisik dan kimia suatu bahan (Susipto. D. A, dkk, 2014).

Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan teori Archimedes, teori ini menyatakan bahwa benda-benda yang lebih ringan dari zat cair, maka benda akan terapung pada zat cair itu dan bila benda itu lebih berat dari zat cair, maka benda akan tenggelam dalam zat cair tersebut. Selanjutnya apa bila sebuah benda dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam zat cair, maka akan mengalami gaya ke atas yang sama besarnya dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut (Nurlaili dan Haiyum. M, 2014). Dengan menggunakan persamaan (2.3) diperoleh harga densitas aktual (Amin. M dan Subri. M, 2015).

$$\text{Densitas} = \frac{W_{di-udara}}{W_{di-udara} - W_{di-air}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :  $W_{di-udara}$  berat spesimen kering (gr)

$W_{di-air}$  berat spesimen di dalam air (gr)

#### 2.12.4 Uji Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan volume pori – pori (volume yang ditempati oleh fluida) terhadap volume total (Sutapa. A. A. G, 2011). Besarnya porositas ada suatu material bervariasi mulai dari 0% sampai dengan 90% tergantung dari jenis dan aplikasi material tersebut. Semakin banyak porositas yang terdapat pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya, begitu pula sebaliknya (Sukimo, 2014). Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat porositas pada keramik berpori dengan menggunakan persamaan (2.4) (Adi. J dan Maiyanti. A. A, 2014) :

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{m_b - m_k}{v_b} \times \frac{1}{\rho_{air}} \times 100 \%$$

Dimana :

$m_b$  = massa basah dari benda uji (gr)

$m_k$  = massa kering dari benda uji (gr)

$v_b$  = volume benda uji ( $mm^3$ )

$\rho_{air}$  = berat jenis air ( $gr/mm^3$ )

#### 2.12.5 Uji Foto Mikro

Pengujian foto mikro dilakukan dengan mikroskop dengan ukuran yang telah ditentukan untuk melihat struktur dari sampel.

Mikroskop optik dasar bertujuan untuk meningkatkan resolusi dan kontras dari spesimen. Mikroskop optik mudah untuk dikembangkan dan populer karena menggunakan cahaya tampak sehingga sampel dapat langsung diamati oleh mata. Pada saat ini, gambar dari mikroskopik optik dapat ditangkap oleh kamera normal yang peka cahaya untuk menghasilkan mikrograf dan langsung disambungkan ke layar monitor komputer. Pembesaran mikroskop ini mencapai 1000X. Untuk pengujian mikroskop optik ini diperlukan juga permukaan yang rata dan halus (Nugroho, 2012).

#### 2.12.6 Uji Scanning Electron Microscope

Scanning Elektron Mikroskop (SEM) merupakan alat yang memiliki kemampuan memberikan informasi secara langsung tentang topografi (tekstur



permukaan sampel), morfologi ( bentuk dan ukuran), komposisi ( unsur penyusun sampel), serta informasi kristalografi ( susunan atom penyusun sampel) (**Munawirul, 2011**).

Scanning Elektron Mikroskop (SEM) merupakan piranti yang menggunakan elektron untuk menguji suatu obyek. Elektron ditembakkan dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan bahan meliputi topografi, morfologi, komposisi serta informasi kristalografi (**Munawirul, 2011**).

Interaksi elektron dengan atom sampel akan menghasilkan berbagai macam sinyal termasuk diantaranya *secondary electron* (SE), *back-scattered electron*/elektron yang berhamburan-balik (BSE), sinar-X karakteristik, serta *cathodaluminance*/ cahaya. Pantulan non-elastis terjadi pada secondary electron sementara pantulan elastis terjadi pada back-scattered electron. Dua jenis elektron tersebut akan menghasilkan gambar yang berbeda. Secondary electron menghasilkan informasi tentang perbedaan topografi dari sampel yang dianalisa. Back-scattered electron memberikan informasi tentang perbedaan berat molekul dari atom-atom yang menyusun permukaan sampel. Karakteristik sinar-X ini digunakan untuk mengidentifikasi komposisi dan mengukur kelimpahan unsur-unsur dalam spesimen (**Munawirul, 2011**).

Mode deteksi yang paling umum atau standar, pencitraan elektron sekunder atau *secondary electron imaging* (SEI), SEM dapat menghasilkan gambar resolusi sangat tinggi dari permukaan spesimen, menghasilkan ukuran yang detailnya kurang dari 1 nm. Karena berkas elektron sangat sempit, gambar SEM memiliki kedalaman yang dapat menghasilkan tampilan karakteristik tiga-dimensi yang berguna untuk mengetahui struktur permukaan spesimen (**Nugroho, 2012**).

Cara kerja dari SEM adalah sebagai berikut :

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

Adapun keunggulan dan kelemahan dari uji SEM antara lain.

1. Keunggulan SEM :

Keunggulan uji SEM antara lain

a. Daya pisah tinggi.

Dapat ditinjau dari jalannya media, SEM dapat digolongkan dengan optic metalurgi dengan menggunakan prinsi refleksi, yang diartikan sebagai permukaan spesimen yang memantulkan berkas media.

b. Menampilkan data permukaan spesimen.

SEM pada hakekatnya pemeriksaan dan analisis data. Data atau tampilan yang diperoleh adalah permukaan lapisan yang tebalnya sekitar 20 mikro meter dari permukaan kemampuan yang beragam membuat SEM populer dan luas penggunaannya, tidak hanya dibidang material melainkan biologi, pertanian, kedokteran, dll.

c. Kemudahan penyimpanan sampel.

Specimen untuk SEM berupa material yang cukup tebal, oleh karena itu penyimpanan sangat mudah untuk memeriksa permukaan petahan (*fraktografi*), permukaan di usahakan tetap seperti apa adanya namun bersih dari kotoran misal debu dan minyak.

2. Kelemahan SEM:

Adapun kelemahan dari SEM sebagai berikut :

a. Memerlukan kondisi vakum

b. Hanya menganalisa permukaan

c. Resolusi lebih rendah dari TEM

d. Sampel harus bahan yang konduktif, jika tidak konduktor maka perlu dilapisi logam seperti emas.

### 2.12.7 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan teknik analisis non-destruktif untuk mengidentifikasi dan menentukan secara kuantitatif tentang bentuk-bentuk berbagai kristal, yang disebut dengan fase. Identifikasi diperoleh dengan membandingkan pola difraksi dengan sinar-X. XRD dapat digunakan untuk menentukan fase apa yang ada didalam bahan dan konsentrasi bahan-bahan penyusunnya. XRD juga dapat mengukur macam-macam kecacakan dan penyimpangan kristal serta karakterisasi material kristal. XRD

juga dapat mengidentifikasi mineral-mineral yang berbutir halus seperti tanah liat. (Agil Fadilah, dkk, 2015).

Pada X-RD, sinar X dipilih karena merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum Sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-5}$  – 10 nm, berfrekuensi  $10^{17}$  –  $10^{20}$  Hz dan memiliki energi  $10^3$  –  $10^6$  eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. (Agil Fadilah, dkk, 2015).

Efek radiasi sinar X terhadap molekul mengakibatkan terjadinya ionisasi. Sinar X bisa berupa partikel atau gelombang. Karena berupa gelombang elektromagnetik, sinar X menjalar pada medium apapun dengan kecepatan yang hampir tetap setara dengan kecepatan cahaya dalam vakum. Sinar X dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi. Elektron itu mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron pada kulit atom logam tersebut terpental membentuk kekosongan. Elektron dengan energi yang lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar X. (Agil Fadilah, dkk, 2015).

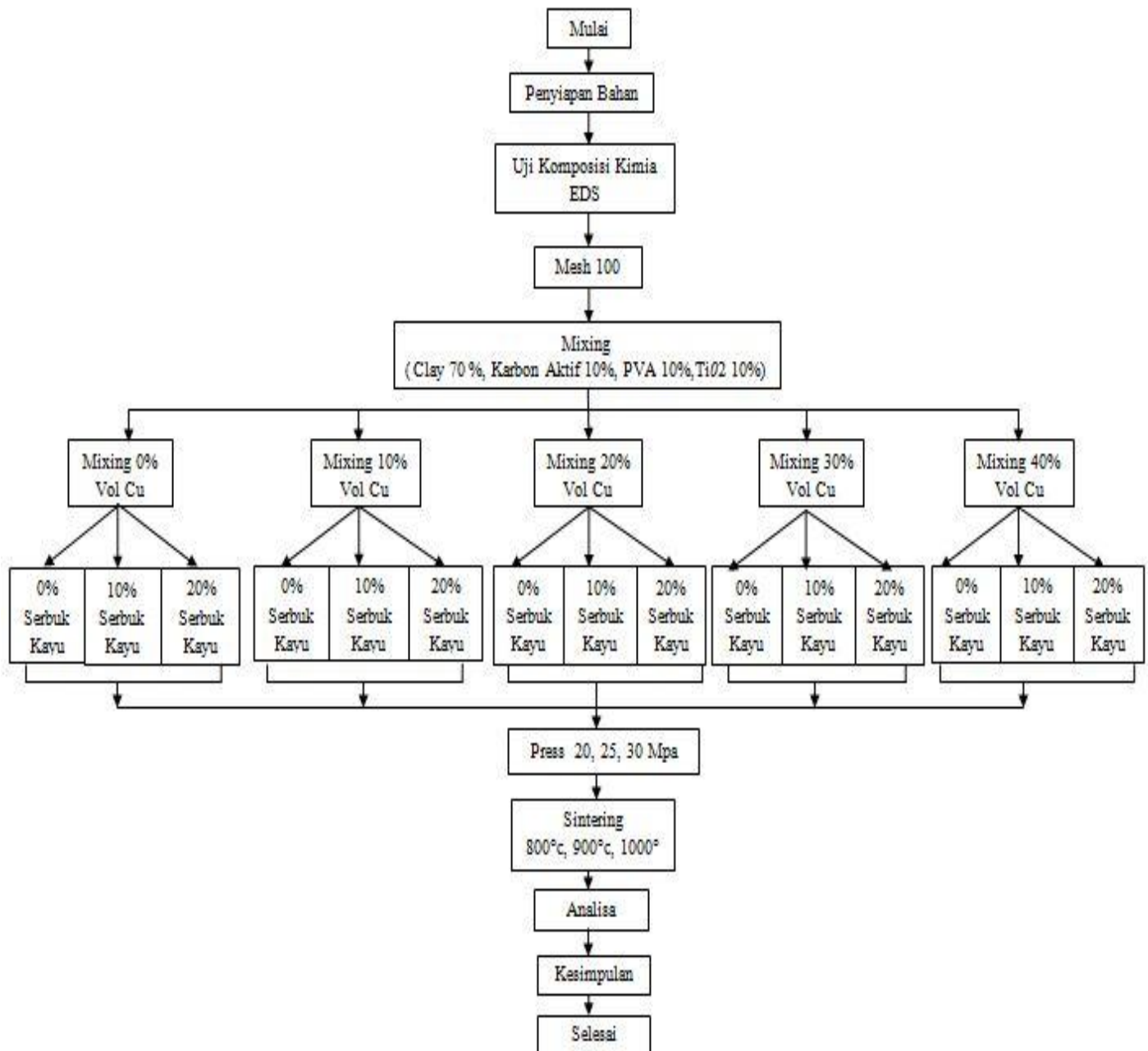
Ada dua proses yang terjadi bila seberkas sinar X ditembakkan ke sebuah atom, yaitu (1) energi berkas sinar X terserap oleh atom, atau (2) sinar X dihamburkan oleh atom. Bila seberkas radiasi elektromagnetik dilewatkan melalui celah sempit, maka akan terjadi difraksi. Difraksi sinar X merupakan proses hamburan sinar X oleh bahan kristal. Sinar X dapat didifraksikan oleh kristal sehingga dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal zat padat. Dengan mengetahui struktur kristalnya, maka sifat-sifat material dapat ditentukan. Dalam interaksinya dengan materi, sinar X juga dapat mengalami polarisasi linier. Berkas sinar X terpolarisasi dapat diperoleh dengan cara hamburan, dimana berkas hamburan sinar X oleh materi yang dapat diukur adalah intensitas. (Agil Fadilah, dkk, 2015).

### BAB III

## METODE PENELITIAN

### 3.8 Bagan Alur Penelitian

Diagram alir penelitian selama proses penelitian dapat diperlihatkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian.

### 3.9 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

#### 3.2.1 Tembaga (Cu)

Untuk mendapatkan Tembaga dalam penelitian kali ini peneliti memperoleh Tembaga dari pengrajin kuningan dan tembaga di Desa Cepogo, Boyolali, Jawa Tengah, karena dikawasan tersebut mayoritas warganya pengrajin Kuningan dan tembaga seperti pada **Gambar 3.2** sehingga peneliti memanfaatkan serbuk dari sisa pengrajin tersebut. Fungsi dari Tembaga sebagai katalis dapat menurunkan konsentrasi emisi gas buang CO.



**Gambar 3.2 Tembaga (Cu)**

#### 1. Clay

Clay diperoleh dari pengrajin keramik di Kecamatan Klampok Kabupaten Banjarnegara Jawa Tengah seperti pada **Gambar 3.3**. Clay yang didapat masih basah sehingga sebelum dilakukan penggilingan menjadi serbuk harus terlebih dahulu dikeringkan menggunakan sinar matahari selama dua hari, Clay sebagai bahan dasar keramik sedangkan keramik sendiri sebagai absorben gas buang hasil dari pembakaran kendaraan.



**Gambar 3.3 Clay**

## **2. Karbon Aktif**

Karbon Aktif diperoleh dari toko kimia CV. Indrasari Jl Stadion Selatan 15 Semarang. Karbon Aktif yang didapat seperti pada **Gambar 3.4** sudah berbentuk serbuk tetapi harus dilakukan penggilingan kembali untuk mendapatkan *mesh* 100, Karbon Aktif sendiri sebagai daya absorben terhadap gas radikal CO, CO<sub>2</sub> dan HC yang berasal dari gas buang kendaraan.

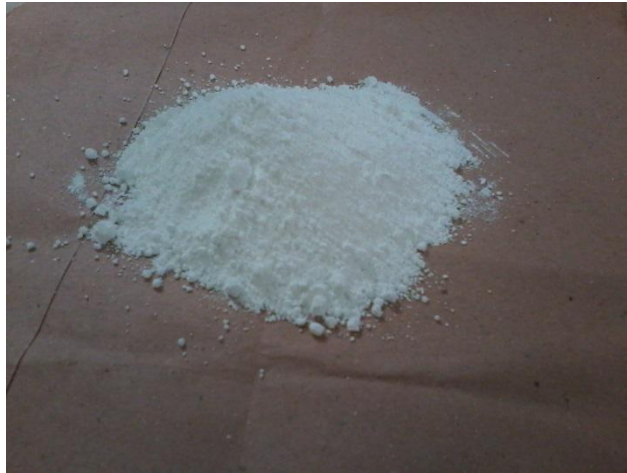


**Gambar 3.4 Karbon Aktif**

## **3. Poly Vinil Alcohol (PVA)**

*Poly Vinil Alcohol* (PVA) diperoleh dari toko kimia PT. Multi Kimia Raya Nusantara, Jl Sidodadi Timur 20 Semarang. PVA yang didapat seperti pada **Gambar 3.5** sudah berbentuk serbuk kasar sehingga harus dilakukan penggilingan kembali

untuk mendapatkan *mesh* 100, PVA berfungsi sebagai pengikat bahan dasar keramik berpori.



**Gambar 3.5** *Poly Vinil Alcohol (PVA)*

#### **4. *Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>)***

*Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>)* diperoleh dari toko kimia CV. Indrasari Jl Stadion Selatan 15 Semarang. *Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>)* seperti pada **Gambar 3.6** yang didapat sudah berbentuk serbuk halus sehingga tidak perlu dilakukang penggilingan kembali, Fungsi dari *Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>)* sebagai katalis.



**Gambar 3.6** *Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>)*

## 5. Serbuk Kayu

Untuk mendapatkan serbuk kayu seperti pada **Gambar 3.7**, peneliti memperoleh serbuk kayu dari toko meubel di Jl. Kedungmundu, Semarang, Jawa Tengah. Fungsi dari serbuk kayu dalam penelitian ini adalah untuk membuat porositas dalam keramik berpori (Spesimen).



**Gambar 3.7 Serbuk kayu**

### 3.10 Alat-Alat Yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 3.3.1 Penggerus

Penggerus yang digunakan seperti pada **Gambar 3.8** pada penelitian ini adalah penggiling bubuk kopi, yang dimanfaatkan sebagai penghancur bahan baku keramik berpori sehingga menjadi serbuk yang halus adapun bahan baku yang di hancurkan adalah Clay, Karbon Aktif dan *Poly Vinil Alcohol* (PVA) ketiga bahan tersebut dihancurkan dengan cara manual.





**Gambar 3.8** Penggerus.

### 3.3.2 Mesh

Mesh berfungsi untuk mengayak semua bahan keramik berpori hingga lolos mesh 100. Untuk mempermudah meshing dilakukan secara bertahap yaitu mesh 60, mesh 80 dan yang terakhir mesh 100. Untuk gambar mesh bisa dilihat pada **Gambar 3.9**.



**Gambar 3.9** Mesh.

### 3.3.3 Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur presentase volume bahan baku keramik berpori sebelum dilakukan mixing, untuk bahan dasar perbandingan volume

keramik berpori adalah 70% Clay, 10% Karbon Aktif , 10% *Poly Vinil Alcohol* (PVA) dan 10% *Titanium Dioksida* ( $TiO_2$ ). Dengan penambahan bahan aditif Tembaga (Cu) sebesar (0, 10, 20, 30, 40) % volume, Serbuk Kayu (0,10,20,30,40) % volume. Gelas ukur bisa dilihat pada **Gambar 3.10**.



**Gambar 3.10** Gelas Ukur.

#### **3.3.4 Mixing**

Mixing digunakan untuk mengaduk semua bahan dasar keramik berpori sehingga semua komposisi tercampur menjadi satu secara merata atau homogen. Untuk mixing ditunjukkan pada **Gambar 3.11**.



**Gambar 3.11** Mixing.

### 3.3.5 Cetakan

Cetakan berfungsi untuk membuat keramik berbentuk silinder, sedangkan pembuatan cetakan dilakukan oleh bengkel bubut. Untuk cetakan keramik berpori bisa dilihat pada **Gambar 3.12**.



**Gambar 3.12** Cetakan Spesimen.

### 3.3.6 Press

Press digunakan untuk menekan bahan keramik berpori dengan daya tekan yang sudah ditentukan oleh peneliti. Sehingga bahan keramik berpori yang berada didalam cetakan menjadi sebuah spesimen berbentuk tabung. Alat press yang digunakan memiliki daya tekan maksimal 150 Mpa. Untuk mengetahui alat press yang digunakan bisa dilihat pada **Gambar 3.13**.



**Gambar 3.13** Press.

### 3.3.7 Furnace

Furnace adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk pemanasan. Furnace sendiri sering di analogikan dengan furnace sebagai keperluan industri yang digunakan untuk banyak hal, seperti pembuatan keramik, ekstraksi logam dari bijih (*smelting*), furnace yang digunakan pada penelitian ini menggunakan furnace bermerk Neycraft yang dapat menghasilkan panas hingga 1100°C yang bisa diatur sesuai dengan kebutuhan. Untuk mengetahui furnace bisa dilihat pada **Gambar 3.14**.



**Gambar 3.14** Furnace.

### 3.3.8 Neraca

Neraca merupakan alat yang sering ada dalam laboratorium yang digunakan untuk menimbang bahan yang akan digunakan. Neraca digital berfungsi untuk membantu mengukur berat serta cara kalkulasi secara otomatis harganya dengan harga dasar satuan banyak kurang. Cara kerja neraca digital hanya bisa mengeluarkan label, ada juga yang hanya timbul ditampilkan layar LCDnya. Neraca yang digunakan memiliki tingkat ketelitian 0,00 gram. Untuk mengetahui neraca bisa dilihat pada **Gambar 3.15**.



**Gambar 3.15** Neraca Digital.

### 3.3.9 Jangka sorong

Jangka sorong adalah alat ukur yang ketelitiannya dapat mencapai seperseratus milimeter. Terdiri dari dua bagian, yaitu bagian diam dan bagian bergerak. Pembacaan hasil pengukuran sangat bergantung pada keahlian dan ketelitian pengguna maupun alat. Jangka sorong yang digunakan memiliki tingkat ketelitian 0,02 mm. Untuk jangka sorong bisa dilihat pada **Gambar 3.16**.



**Gambar 3.16** Jangka Sorong.

### **3.4** **Prosedur Penelitian**

Prosedur yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Penyiapan bahan baku keramik yang terdiri dari Clay, Karbon Aktif, PVA,  $TiO_2$ , Serbuk kayu dan tembaga (Cu) sebagai bahan aditif.
- b. Penyiapan alat-alat yang digunakan dalam penelitian.
- c. Pengujian komposisi kimia *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk semua bahan baku.
- d. Meshing semua bahan baku hingga lolos mesh 100.
- e. Pencampuran bahan baku keramik berpori dengan persentase volume (Clay 70%, Karbon Aktif 10%, PVA 10%,  $TiO_2$  10%).
- f. Mixing selama 1 menit dengan kecepatan 60 rpm.
- g. Penambahan serbuk kayu dengan persentase volume 0%, 10%, 20%, 30%, 40% pada setiap 100% bahan baku keramik berpori.
- h. Mixing selama 1 menit dengan kecepatan 60 rpm.
- i. Penambahan bahan aditif tembaga dengan persentase volume 0%, 10%, 20%, 30%, 40% pada setiap 100% bahan baku keramik berpori.
- j. Mixing selama 1 menit dengan kecepatan 60 rpm.
- k. Pencetakan dengan tekanan press 20, 25, 30 Mpa ditahan selama 5 menit.
- l. Sintering pada temperatur 800°C, 900°C, 1000°C dengan laju pemanasan 5°C/menit.

- m. Penahanan sintering selama 1 jam.
- n. Pendinginan dilakukan didalam furnace dengan cara menekan tombol off pada furnace biarkan temperatur turun hingga mencapai temperatur ruangan.
- o. Pengujian karakterisasi meliputi Foto Mikro, *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD).
- p. Menganalisa hasil pengujian.
- q. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian.

### 3.5 Komposisi Keramik Berpori

Komposisi keramik berpori dengan bahan dasar Clay, Karbon Aktif, *Polivinil Alcohol* (PVA) dan Titanium *Dioksida* ( $TiO_2$ ), Serbuk kayu, dan aditif Tembaga adalah seperti **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1** Komposisi Bahan Dasar dan Aditif

No	Bahan Dasar (Clay 70%, Karbon Aktif 10%, PVA 10%, $TiO_2$ 10%)	Serbuk Kayu	Aditif Tembaga
1.	100%	0 %	0 %
2.	90%	10%	10%
3.	80%	20%	20%
4.	70%	30%	30%
5.	60%	40%	40%

### 3.6 Karakterisasi

#### 3.6.1 Uji Komposisi (SEM-EDS)

Untuk mengetahui komposisi bahan dasar keramik berpori dari Clay, Karbon Aktif, PVA,  $TiO_2$  dan Cu. Dengan cara melakukan pengujian analisa semikuantitatif kandungan unsur dan *mapping* menggunakan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (ASTM E 1508-12a).

Sampel dilapisi (*coating*) dengan platina selama 55 detik pada arus 30 mA. Sampel kemudian dianalisa menggunakan alat SEM – EDS pada *accelerated voltage* sebesar 20 kV. Alat SEM-EDS ditunjukkan pada **Gambar 3.17**.



**Gambar 3.17** Alat Uji SEM-EDS.

Pengujian analisa semikuantitatif kandungan unsur dan *mapping* menggunakan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* dilakukan di laboratorium

### **3.6.2 Susut Bakar**

Setelah melakukan pembakaran dengan furnace maka sampel keramik berpori akan mengalami Susut Massa, dan Susut Volume.

#### **1. Susut Massa**

Pengukuran susut massa dilakukan dengan menimbang sampel sebelum dan sesudah pembakaran menggunakan neraca digital. Sebelum penimbangan neraca terlebih dahulu diseting di angka nol dan hasil penimbangan dimasukkan kedalam persamaan (2.1), hingga diperoleh persentase penyusutan massa.

#### **2. Susut Volume**

Pengukuran susut volume dilakukan dengan mengukur diameter dan tinggi sampel sebelum dan sesudah pembakaran dengan menggunakan jangka sorong. Hasil dari pengukuran dimasukkan kedalam persamaan (2.2), hingga diperoleh persentase penyusutan volume.

### **3.6.3 Densitas**

Pengukuran densitas pada setiap sampel keramik berpori ditentukan dengan cara menimbang sampel di udara ( $W_{udara}$ ) dan di air ( $W_{fluida}$ ). Berdasarkan hasil



penimbangan sampel di dalam air akan diperoleh pengukuran berat sebesar air yang dipindahkan oleh sampel tersebut. Hasil pengukuran dimasukkan ke dalam persamaan (2.3) hingga diperoleh harga densitas aktual dari sampel keramik berpori.

#### 3.6.4 Porositas

Pengukuran porositas dilakukan dengan cara yang sederhana, yakni dengan cara merendam sampel ke dalam air selama 30 menit pada suhu dan tekanan ruang. Setelah tercapai waktu tersebut, sampel dilap kemudian ditimbang massanya dengan menggunakan neraca digital. Nilai porositas setiap sampel diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.4).

#### 3.6.5 Foto Mikro

Pengujian mikrografi dilakukan bertujuan untuk melihat struktur mikro dari sampel keramik berpori dan kemudian didokumentasikan oleh kamera dengan pembesaran 100X dan 200X. Mikroskop yang digunakan untuk analisa struktur bermerk Krisbow ditunjukkan pada **Gambar 3.18**. Langkah-langkah yang dilakukan pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut :

1. Memotong sampel menjadi sampel uji struktur mikro.
2. Menghaluskan permukaan sampel uji dengan menggunakan *centrifugal sand paper machine* sampai benar-benar halus dan rata. Ukuran kekasaran amplas yang dipakai adalah 200, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000.
3. Hubungkan alat dengan arus listrik.
4. Bersihkan landasan benda uji pada mikroskop.
5. Nyalakan terformen dengan memutar tombol ke arah kanan hingga tercapai kekuatan cahaya sesuai yang diinginkan.
6. Fokuskan bayangan benda uji sesuai dengan pembesaran yang diperlukan, untuk mengamankan lensa lakukan penarikan benda uji ke atas.
7. Nyalakan power indikator kamera, lakukan pengaturan sesuai dengan jenis film yang dipakai.
8. Tekan tombol exposure (bila diperlukan).
9. Angkat benda uji dari landasan mikroskop.
10. Setelah pengujian selesai, peralatan dikembalikan keposisi semula dalam keadaan bersih dan baik.
11. Selesai



**Gambar 3.18** Mikroskope.

### **3.6.6 Scanning Electron Microscope (SEM)**

Jenis pengujian analisa morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Kondisi pengujian sampel dilapisi (*coating*) dengan platina selama 55 detik arus 30 mA alat *Coating* ditunjukkan pada **Gambar 3.19**. Sampel kemudian dianalisa menggunakan alat SEM pada *accelerted voltage* sebesar 15 kV dan 20 kV. *Accelerated voltage* sebesar 15 kV digunakan untuk menganalisa sampel keramik paduan tembaga Cu 10%, 20% dan 30%. Sedangkan, *accelerated voltage* sebesar 20 kV digunakan untuk menganalisa sampel keramik paduan tembaga Cu 40% dan 0%.



**Gambar 3.19** Alat *Coating*.

Analisa morfologi dilakukan pada satu area dengan perbesaran 5.000X, 7.500X, dan 10.000X. Pengujian analisa morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* dilakukan di laboratorium

Langkah-langkah cara kerja dari SEM adalah sebagai berikut :

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

### **3.6.7 X-Ray Diffraction (XRD)**

Hasil uji *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengidentifikasi struktur, ukuran butir, unsur dan parameter kisi kristal dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X.

Cara Kerja *X-Ray Diffraction* (XRD)

1. Bahan yang akan di analisa (sample)
  - i. Ukuran harus tepat dan specimen (jenis) bahan harus adalah bahan yang bisa di ukur dengan XRD.
  - ii. Tempatkan sample/bahan pada XRD. Tempatkan pada tempat sample dan cek ulang bahwa letaknya sudah tepat dan aman.
2. Komputer untuk control XRD
  - a. Nyalakan computer dan monitornya.
  - b. Nyalakan mesin XRD.
  - c. Periksa apakah knops dan KV sudah pada posisi nol (0). Set 0 jika posisi belum pada 0.
  - d. Jalankan control XRD yang berada pada computer.
  - e. Pilih New kemudian Individual *analyze* dan biarkan proses inisialisasi berjalan. Jika proses anisialisasi gagal maka klik cancel dan ulangi lagi.
  - f. Jika proses inisialisasi berhasil proses analisa bias dilakukan.

- g. Sesuaikan parameter pada XRD sesuai dengan yang di inginkan. Kemudian pilih mode lambat, sedang atau cepat (waktu analisa). Setelah itu tekan tombol start pada control XRD.
- h. Tunggu sampai proses analisa (*scan*) selesai. Setelah proses analisa selesai maka akan didapatkan data berupa grafis dengan peak-peak (puncak-puncak) nya. Dari grafis itu fokuskan analisa pada puncak yang paling dominan.

### 3.7 Teknik Analisis Data

Hasil uji bahan keramik berpori dengan aditif bervariasi tertentu untuk pengujian susut bakar, densitas, porositas, foto mikro, komposisi kimia EDS, SEM, XRD disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan gambar yang selanjutnya dianalisa menurut hasil uji masing-masing pengukuran dan pengamatan.



## BAB IV

### HASIL UJI DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Uji *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) Bahan Dasar Keramik Berpori

**Tabel 4.1** Memperlihatkan hasil analisa kandungan unsur kimia pada Tembaga (Cu), Clay Banjar Negara, Karbon Aktif, *Poly Vinil Alcohol* (PVA) dan *Titanium Dioksida* (TiO<sub>2</sub>).

**Tabel 4.1** Hasil Analisa Kandungan Unsur Kimia Bahan Keramik Berpori.

No	Nama Unsur	Kandungan Unsur (%)				
		TiO <sub>2</sub>	Clay Banjar Negara	PVA	Cu	Karbon
1	C	-	6,12	95,91	19,07	75,49
2	O	40,58	43,36	0,87	3,83	8,98
3	Al	-	2,08	-	0,42	0,53
4	Mg	2,48	11,84	-	-	1,8
5	Si	0,67	24,74	-	0,40	4,05
6	Cl	-	-	-	-	0,49
7	K	-	3,17	-	-	2,57
8	Ca	-	1,49	-	-	1,47
9	Ti	56,26	-	-	-	-
10	Te	-	7,23	-	-	1,82
11	Cu	-	-	3,90**	76,28	2,13
12	Zn	-	-	-	-	-
13	Na	-	-	0,93	-	0,65

Dari hasil analisis EDS tersebut dinyatakan bahwa: *Titanium Dioksida* (TiO<sub>2</sub>) mendominasi kandungan Titanium (Ti) sebesar 56,26% dan Oksigen (O) sebesar 40,58%; Clay Banjar Negara mendominasi kandungan Oksigen (O) sebesar 43,36% dan Silikon (Si) sebesar 24,74%; *Poly Vinil Alcohol* (PVA) mendominasi kandungan Karbon (C) sebesar 95,91%; Tembaga (Cu) mendominasi kandungan Tembaga (Cu) sebesar % dan Karbon Aktif mendominasi kandungan Karbon (C) sebesar 75,49%.

## 4.2 Keramik Berpori

**Gambar 4.1** Menunjukkan hasil pembuatan spesimen keramik berpori dengan komposisi bahan dasar Clay Banjar Negara 70%, Karbon Aktif 10%, *Poly Vinyl Alcohol* (PVA) 10%, *Titanium Dioksida* ( $\text{TiO}_2$ ) 10%, Serbuk Kayu 20% volume, serta penambahna bahan aditif tembaga (Cu) (0, 10, 20, 30, 40) % volume. Proses pembuatan sampel dilakukan dengan metode Penggilingan dengan cara menghaluskan semua bahan sampai 100 mesh, kemudian dicetak dengan tekanan 30 Mpa penahanan selama 5 menit, pembakaran dilakukan dengan furnace hingga mencapai suhu  $800^\circ\text{C}$  dan penahanan selama 1 jam dengan laju pemanasan  $5^\circ\text{C}/\text{menit}$ . Dimensi specimen keramik berpori berbentuk silinder dengan diameter 16,40 mm, dan tinggi 18,30 mm.



**Gambar 4.1** Spesimen.

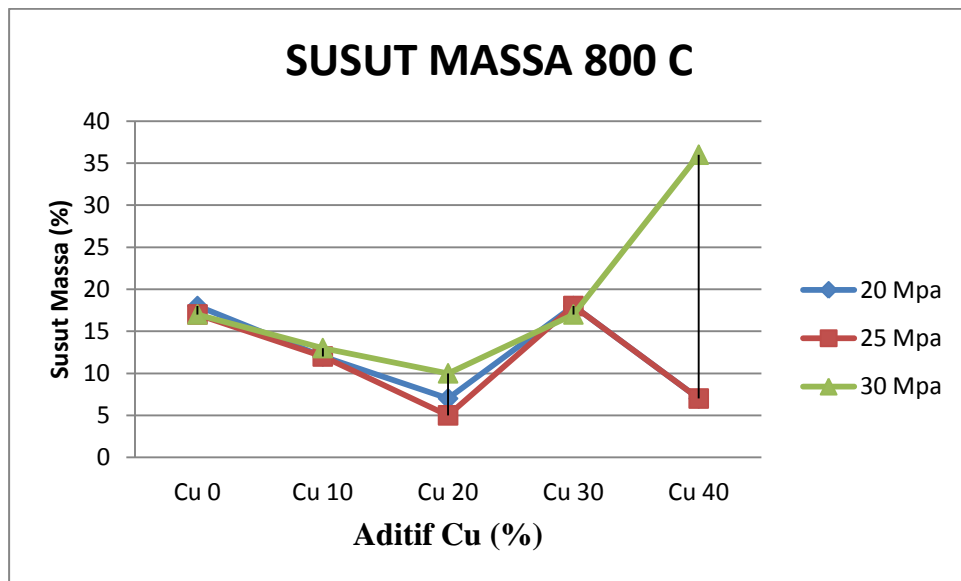
## 4.3 Susut Bakar

### 1. Susut Massa

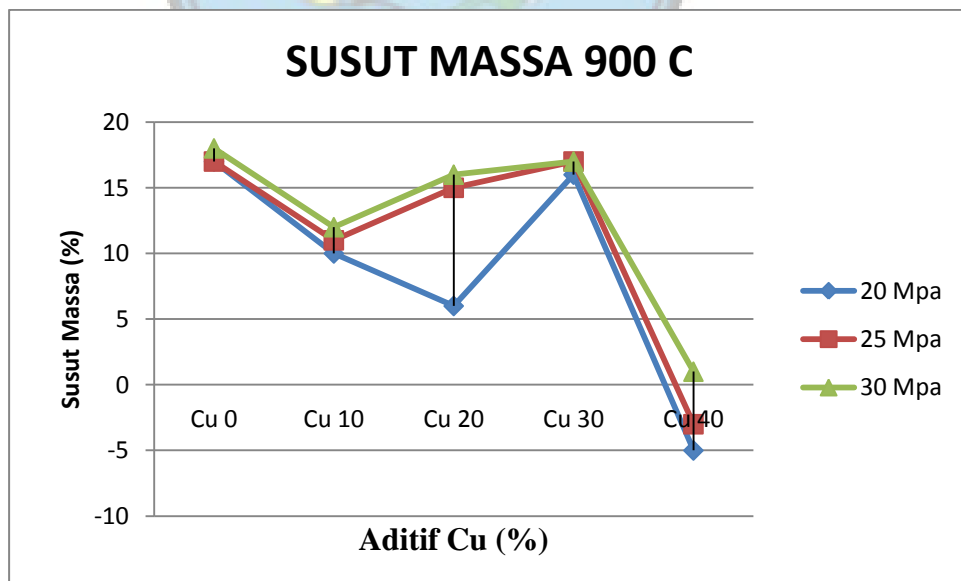
Pengukuran susut massa dilakukan dengan menimbang sampel sebelum dan sesudah pembakaran menggunakan neraca digital. Sebelum penimbangan neraca terlebih dahulu diseting pada angka nol dan hasil penimbangan dimasukkan kedalam persamaan (2.1), hingga diperoleh persentase penyusutan massa. Setelah proses

pembakaran suatu benda akan mengalami penyusutan karena air dalam lempung menguap.

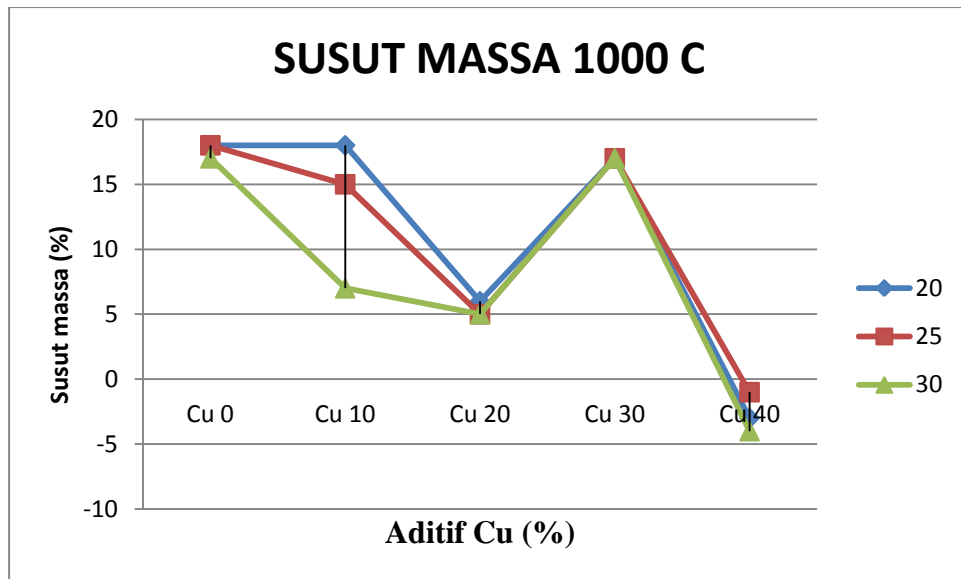
Pada variasi penambahan tekanan terhadap variasi temperatur pada proses pembuatan spesimen dilakukan dengan tekanan 20, 25, 30 Mpa, temperatur 800°C, 900°C, 1000°C dimana perbedaan tekanan dan temperatur mempengaruhi hasil penyusutan massa karena kepadatan pada material mempengaruhi proses penguapan pada material dengan suhu tinggi. Berikut adalah grafik susut massa dari variasi penambahan tekanan terhadap temperatur.



Gambar 4.2 Grafik Susut Massa dengan variasi penambahan tekanan pada temperatur 800°C



Gambar 4.3 Grafik Susut Massa dengan variasi penambahan tekanan pada temperatur 900°C

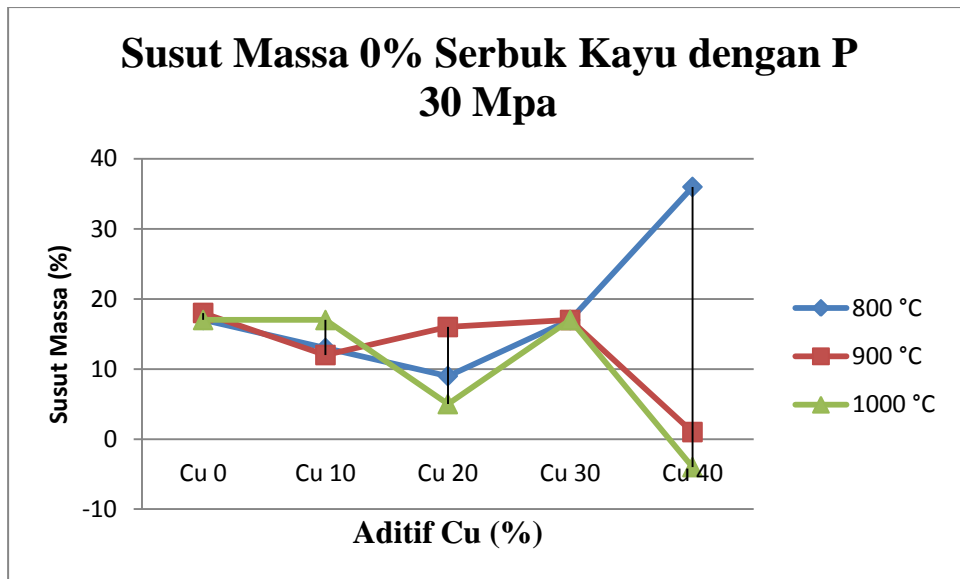


**Gambar 4.4** Grafik Susut Massa dengan variasi penambahan tekanan pada temperatur 1000°c

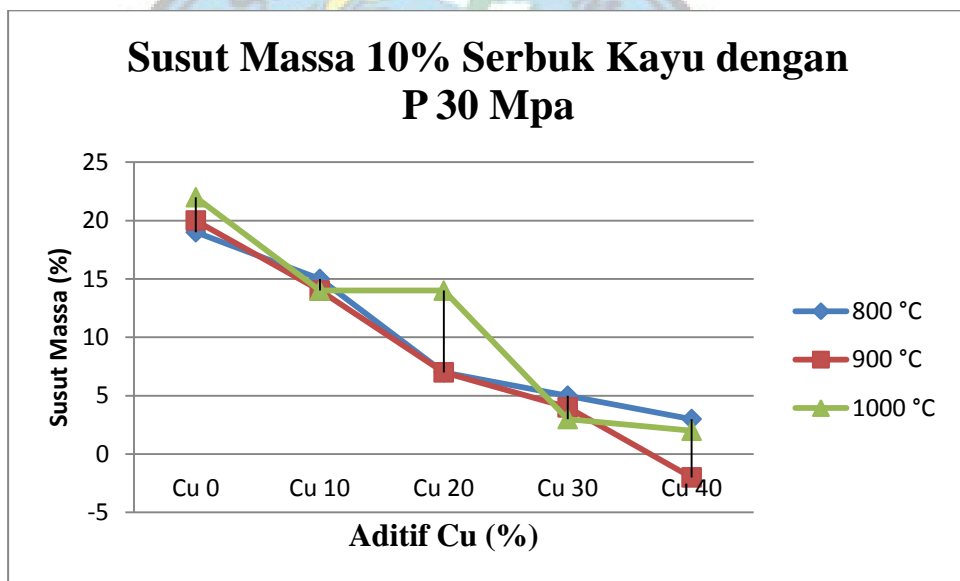
Dari hasil pengukuran susut massa diatas dengan penambahan tekanan 20, 25, 30 Mpa terhadap variasi temperatur 800°c, 900°c, 1000°c didapatkan hasil tekanan 30 Mpa pada temperatur 800°c terlihat grafik pada **Gambar 4.2** yang memiliki grafik naik tinggi, Dikarenakan jika lebih besar tekanan yang digunakan maka maka kerapatan pori akan semakin padat, jika semakin tinggi temperatur yang digunakan maka material yang ada didalam keramik berpori akan lebih banyak teroksidasi.

Dalam mendapatkan persentase serbuk kayu dalam pembuatan spesimen dilakukan dengan variasi penambahan serbuk kayu terhadap variasi temperatur, dengan persentase serbuk kayu 0%, 10%, 20% volume, dengan perbandingan temperatur 800°c, 900°c, 1000°c. Berikut adalah grafik hasil perbandingan variasi.

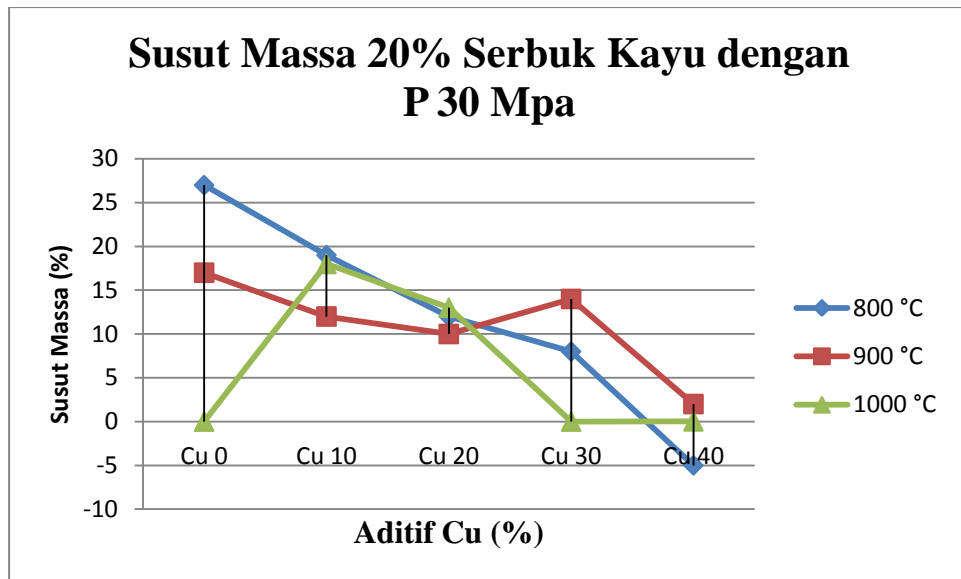




**Gambar 4.5** Grafik Susut Massa penambahan Serbuk Kayu 0% terhadap variasi temperatur



**Gambar 4.6** Grafik Susut Massa penambahan Serbuk Kayu 10% terhadap variasi temperatur



**Gambar 4.7** Grafik Susut Massa penambahan Serbuk Kayu 20% terhadap variasi temperatur

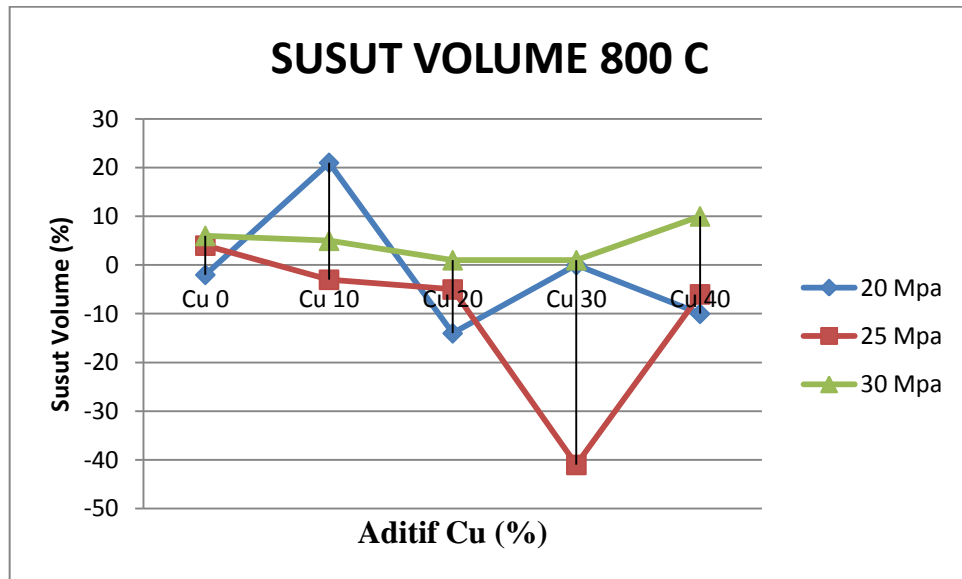
Dari grafik perbandingan serbuk kayu terhadap variasi temperatur diatas dapat disimpulkan pada **Gambar 4.7**. 20% serbuk kayu dengan temperatur 800°C yang digunakan untuk campuran aditif tembaga (Cu) dalam pembuatan spesimen keramik berpori. Dikarenakan persentase 20% serbuk kayu memiliki hasil susut massa yang stabil pada setiap penambahan 10% aditif tembaga (Cu). Dibandingkan dengan persentase 0%, dan 10% serbuk kayu yang memiliki hasil yang masih naik turun pada setiap penambahan aditif tembaga (Cu).

## 2. Susut Volume

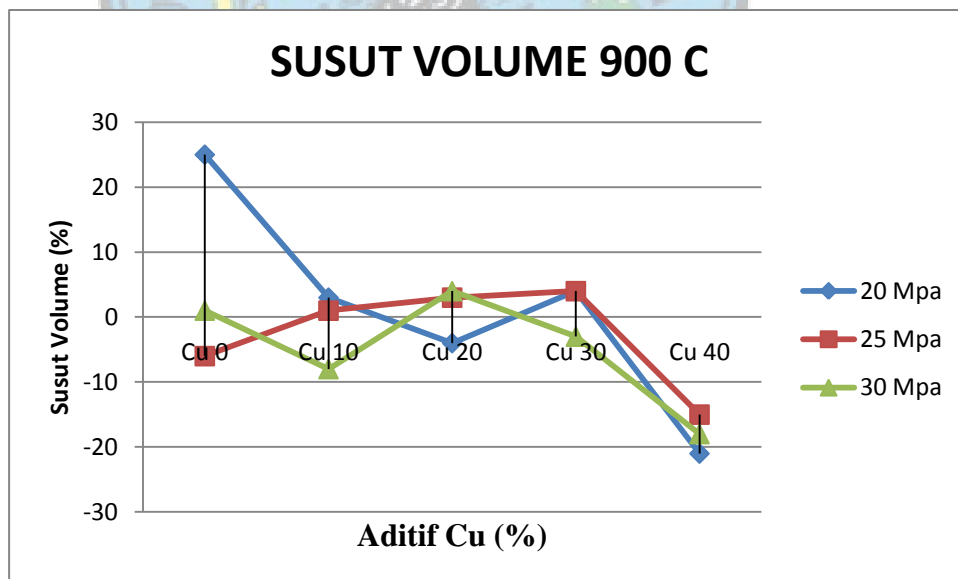
Pengukuran susut volume dilakukan dengan mengukur diameter dan tinggi sampel sebelum dan sesudah pembakaran dengan menggunakan jangka sorong. Hasil dari pengukuran dimasukkan kedalam persamaan (2.3), hingga diperoleh persentase penyusutan volume.

$$\begin{aligned}
 \text{Rumus susut volum} &= \frac{V_0 - V_t}{V_0} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.2) \\
 &= \frac{3023,43 - 3001,18}{3023,43} \times 100 \% = 0,735 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

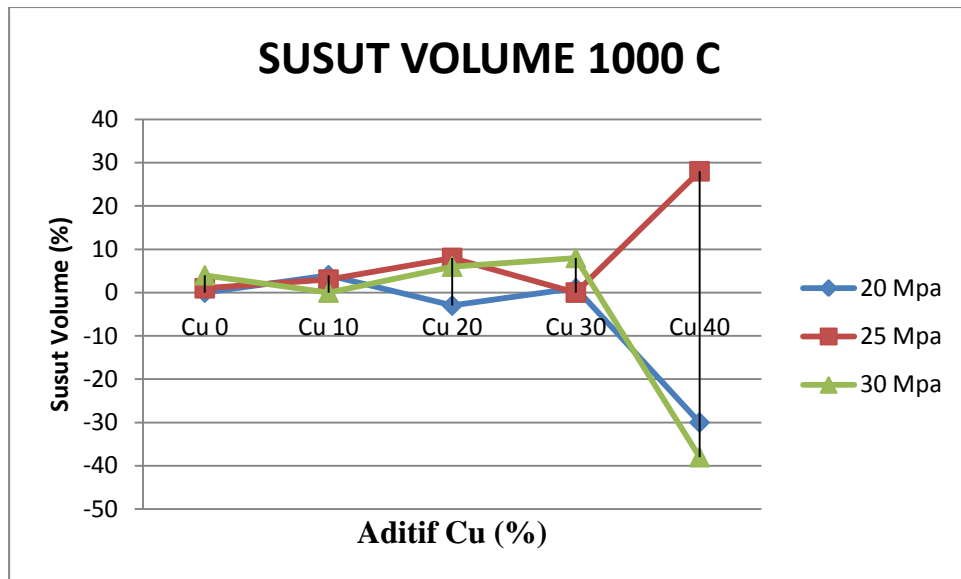
Pengukuran susut volume pada proses pembuatan spesimen dilakukan beberapa variasi, yaitu variasi tekanan, serbuk kayu, dan temperatur. Pada variasi tekanan digunakan 20, 25, 30 Mpa, dan variasi temperatur 800°c, 900°c,1000°c.



**Gambar 4.8** Grafik Susut Volume dengan variasi penambahan tekanan 20, 25, 30 Mpa pada temperatur 800°c



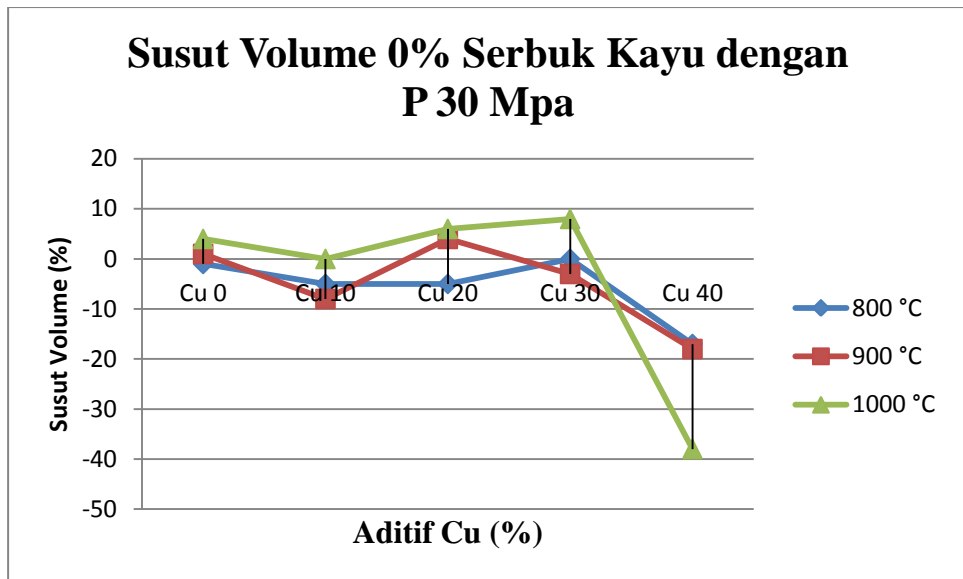
**Gambar 4.9** Grafik Susut Volume dengan variasi penambahan tekanan 20, 25, 30 Mpa pada temperatur 900°c



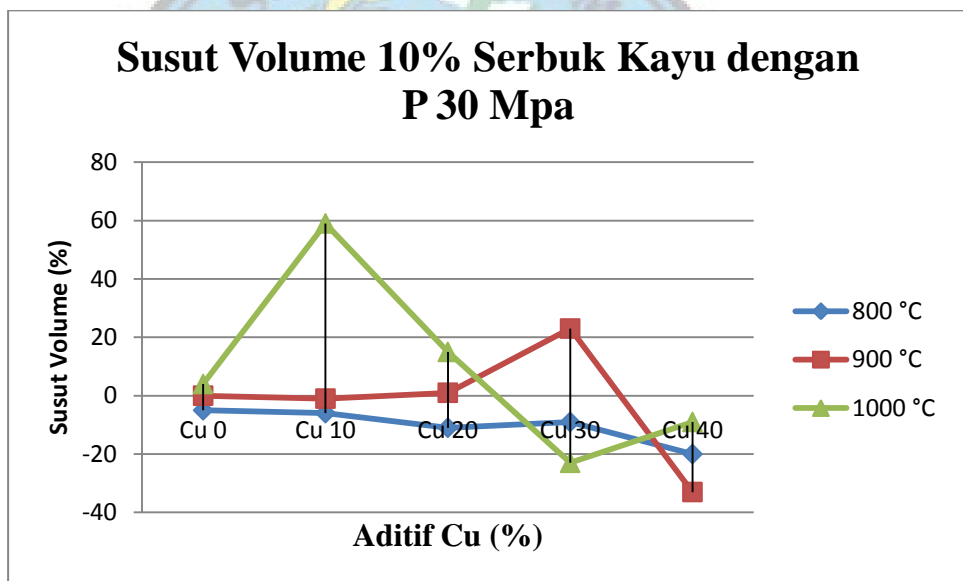
**Gambar 4.10** Grafik Susut Volume dengan variasi penambahan tekanan 20, 25, 30 Mpa pada temperatur 1000°C

Dari grafik susut volume terhadap penambahan tekanan terhadap temperatur diatas dapat disimpulkan bahwa pengukuran susut volume dalam pembuatan spesimen keramik berpori menggunakan tekanan sebesar 30 Mpa dengan temperatur 800°C seperti pada **Gambar 4.8**. Dikarenakan adanya distribusi komposisi keramik berpori tidak homogen menyebabkan kepadatan komposit menurun sehingga menyebabkan ukuran porositas membesar.

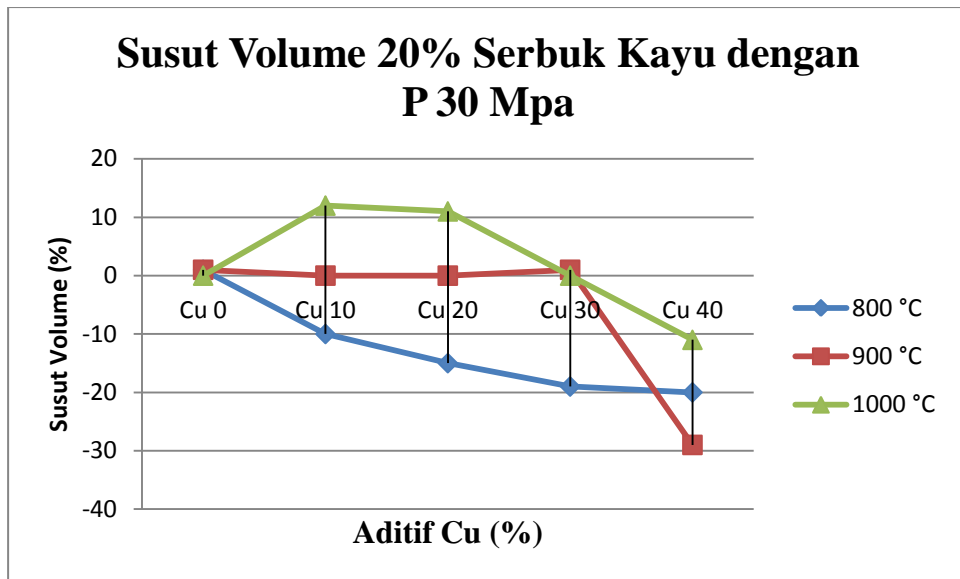
Dalam mendapatkan persentase serbuk kayu dalam pengukuran susut volume untuk pembuatan spesimen dilakukan dengan variasi penambahan serbuk kayu terhadap temperatur, dengan persentase serbuk kayu 0%, 10%, 20% volume, dengan perbandingan temperatur 800°C, 900°C, 1000°C. Berikut adalah grafik hasil perbandingan variasi.



Gambar 4.11 Grafik Susut Volume penambahan Serbuk Kayu 0% terhadap Variasi temperatur



Gambar 4.12 Grafik Susut Volume penambahan Serbuk Kayu 10% terhadap Variasi temperatur



**Gambar 4.13** Grafik Susut Volume penambahan Serbuk Kayu 20% terhadap Variasi temperatur

Setelah melakukan beberapa perbandingan diatas dapat disimpulkan pengukuran susut volume dalam pembuatan spesimen keramik berpori menggunakan tekanan 30 Mpa, Serbuk kayu 20%, dan temperatur 800°C. Digunakan serbuk kayu dengan persentase 20% karena dalam grafik 4.13 terlihat hasil grafik pada persentase 20% serbuk kayu mengalami penyusutan volume setiap penambahan 10% aditif tembaga (Cu).

#### 4.4 Densitas

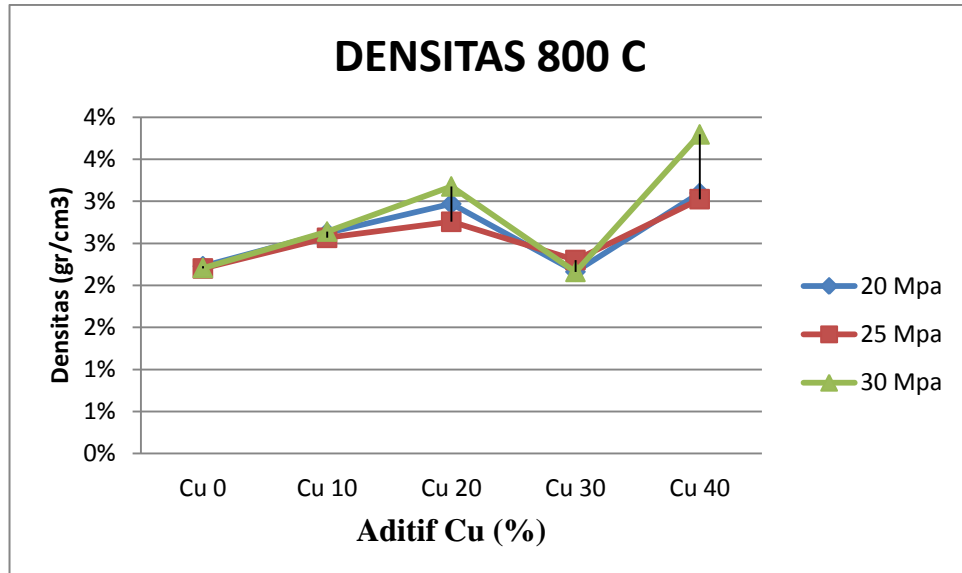
Pengukuran densitas pada setiap sampel keramik berpori ditentukan dengan cara menimbang sampel di udara ( $W_{udara}$ ) dan di air ( $W_{fluida}$ ). Berdasarkan hasil penimbangan sampel di dalam air akan diperoleh pengukuran berat sebesar air yang dipindahkan oleh sampel tersebut. Hasil pengukuran dimasukkan ke dalam persamaan (2.4) hingga diperoleh harga densitas aktual dari sampel keramik berpori. Pengukuran densitas dilakukan dengan menggunakan prinsip *Archimedes*,

$$\text{Densitas} = \frac{W_{di-udara}}{W_{di-udara} - W_{di-air}} \dots\dots\dots(2.3)$$

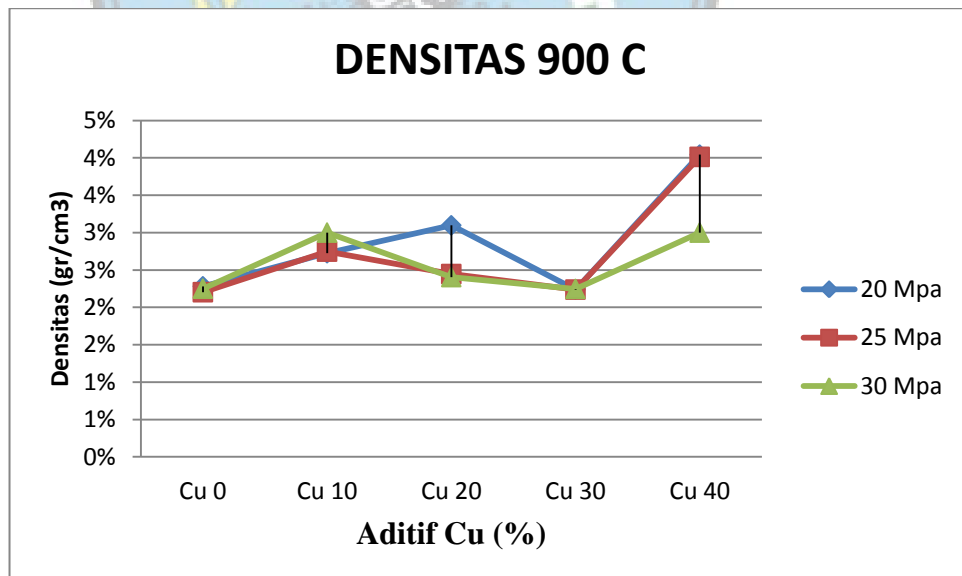
Dimana :  $W_{di-udara}$  berat spesimen kering (gr)

$W_{di-air}$  berat spesimen di dalam air (gr)

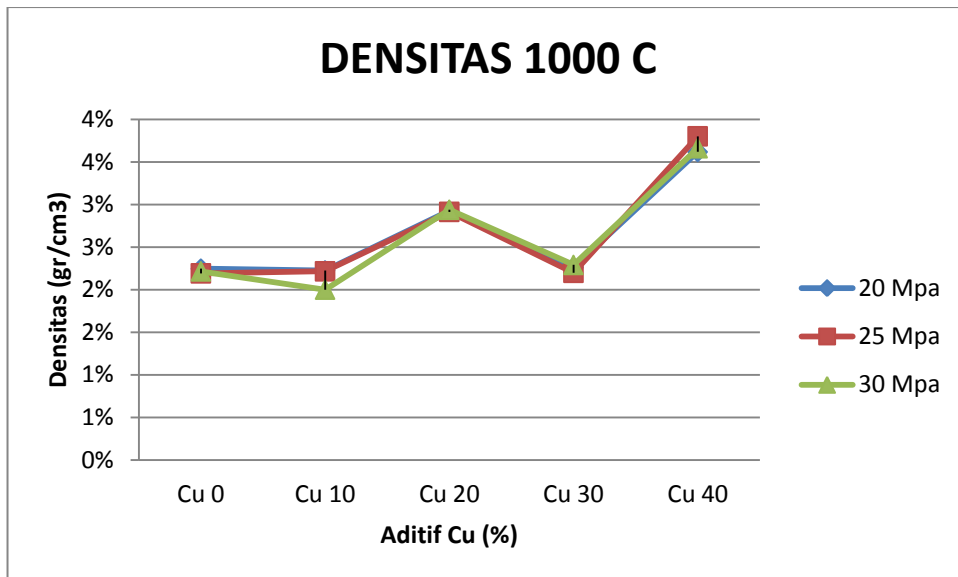
Variasi tekanan, serbuk kayu, dan temperatur juga digunakan untuk pengukuran densitas, dimaksudkan agar peneliti mengetahui perbedaan sampel spesimen dari pengukuran densitas dengan menggunakan beberapa variasi diatas.



**Gambar 4.14** Grafik Densitas dengan variasi penambahan tekanan 20, 25, 30 Mpa pada temperatur 800°C



**Gambar 4.15** Grafik Densitas dengan variasi penambahan tekanan 20, 25, 30 Mpa pada temperatur 900°C

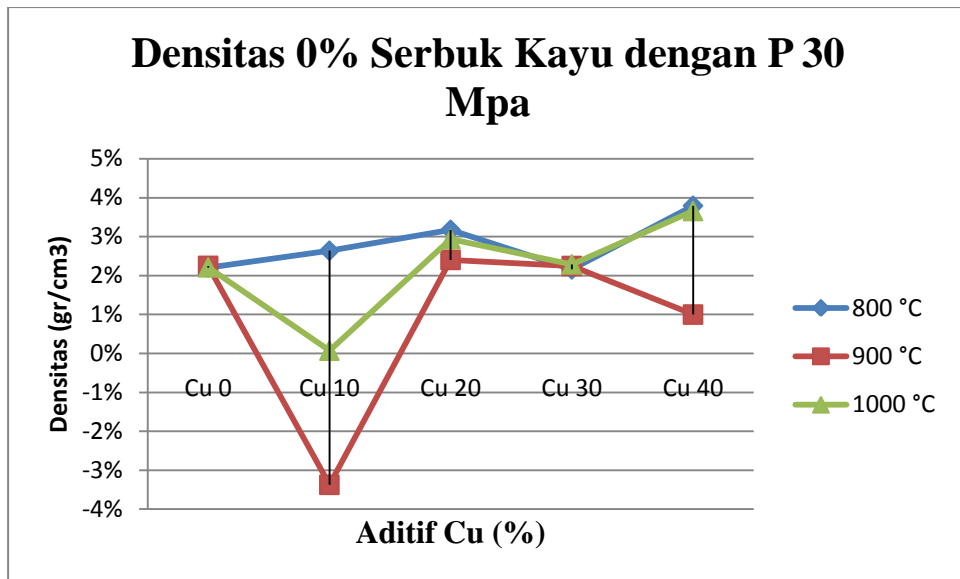


**Gambar 4.16** Grafik Densitas dengan variasi penambahan tekanan 20, 25, 30 Mpa pada temperatur 1000°c

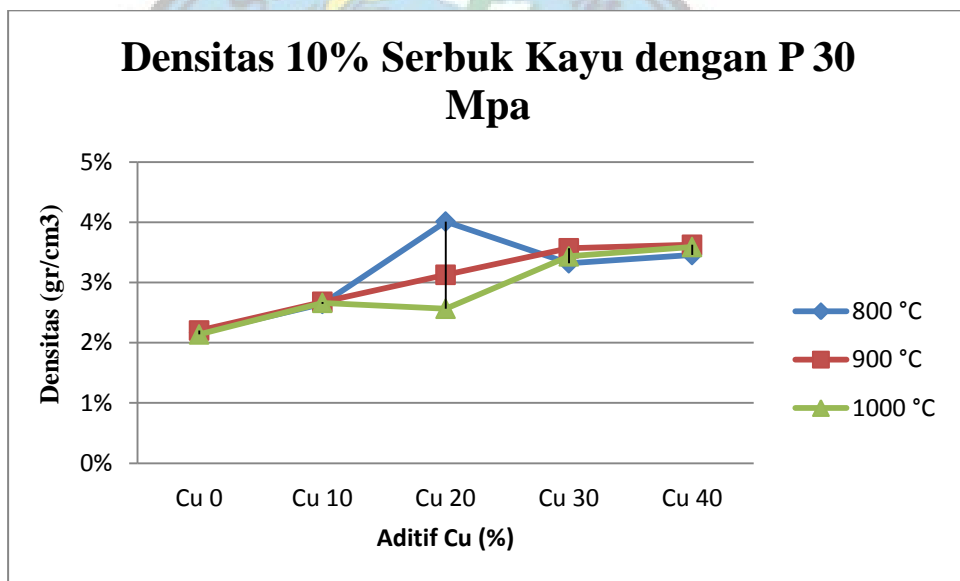
Dari grafik densitas diatas dengan penambahan tekanan terhadap variasi temperatur disimpulkan bahwa pengukuran densitas pada pembuatan spesimen keramik berpori menggunakan temperatur 800°c, dan tekanan sebesar 30 Mpa, karena dari grafik 4.14 terlihat pada tekanan 30 Mpa grafik dominan naik pada setiap penambahan 10% aditif tembaga (Cu). Dan dipilih temperatur 800°c karena pada temperatur tersebut tembaga belum mencapai titik lebur. Tembaga akan mulai melebur pada temperatur 1085°c.

Dalam mendapatkan persentase serbuk kayu dalam pengukuran Densitas untuk pembuatan spesimen dilakukan dengan variasi perbandingan penambahan serbuk kayu terhadap temperatur, dengan persentase serbuk kayu 0%, 10%, 20% volume, dengan perbandingan temperatur 800°c, 900°c, 1000°c. Berikut adalah grafik hasil perbandingan serbuk kayu terhadap temperatur.

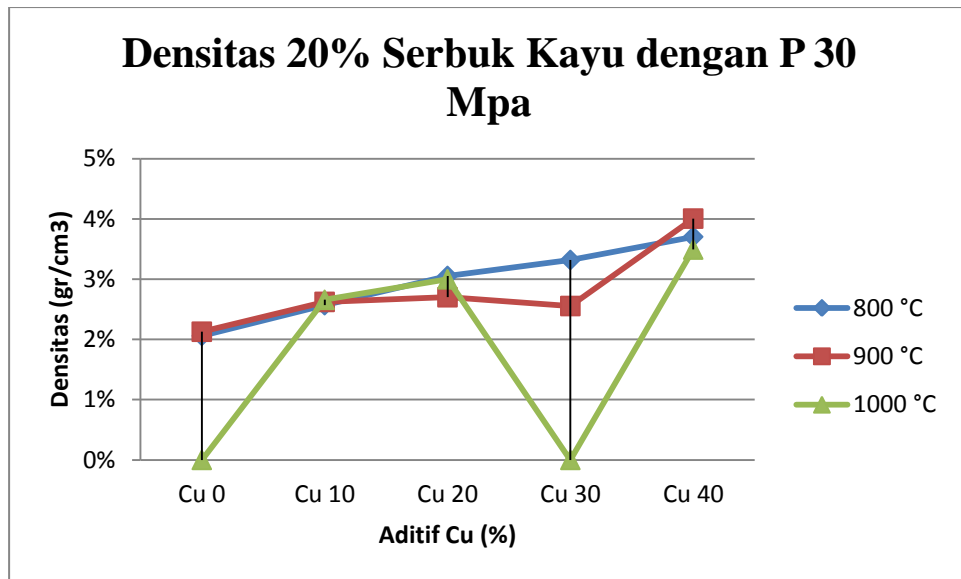




Gambar 4.17 Grafik Densitas penambahan Serbuk Kayu 0% terhadap variasi temperatur



Gambar 4.18 Grafik Densitas penambahan Serbuk Kayu 10% terhadap variasi temperatur

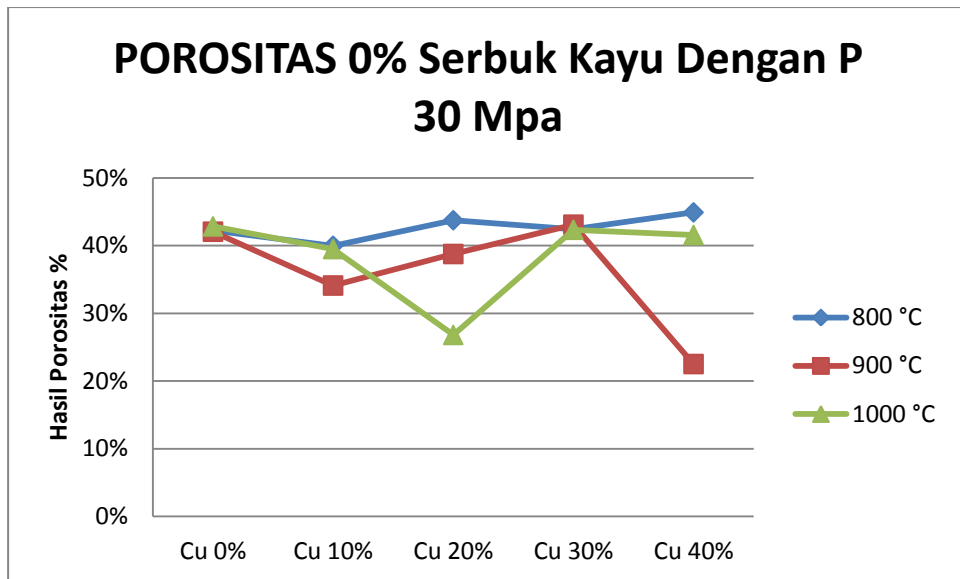


**Gambar 4.19** Grafik Densitas penambahan Serbuk Kayu 20% terhadap variasi temperatur

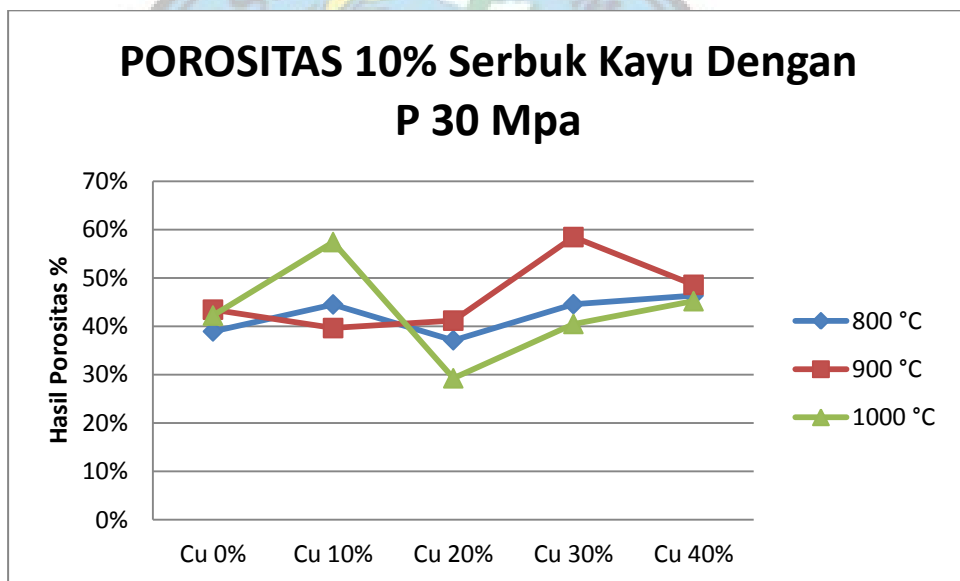
Setelah melakukan perbandingan penambahan serbuk kayu terhadap temperatur, pada grafik 4.19 dapat disimpulkan bahwa dalam pembuatan spesimen keramik berpori menggunakan tekanan 30 Mpa, temperatur 800°C, dan serbuk kayu 20%. Dikarenakan pada persentase 20% serbuk kayu dalam pengukuran densitas grafik terlihat naik pada setiap penambahan 10% aditif tembaga (Cu).

#### 4.5 Porositas

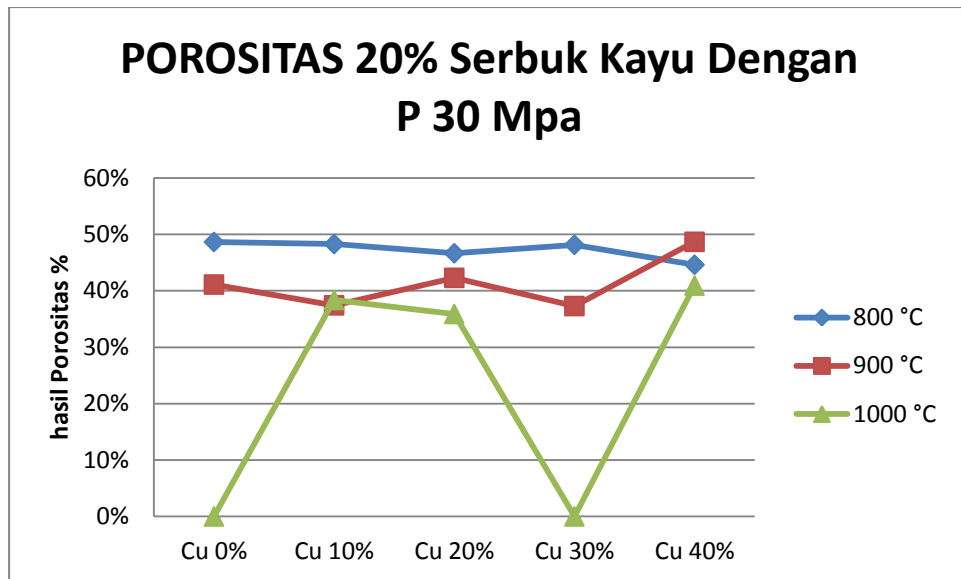
Persentase serbuk kayu dalam pengukuran porositas untuk pembuatan spesimen dilakukan juga dengan variasi perbandingan penambahan serbuk kayu terhadap temperatur, dengan persentase serbuk kayu 0, 10, 20% volume, tekanan 30 Mpa dengan perbandingan temperatur 800°C, 900°C, 1000°C. Berikut adalah grafik hasil perbandingan variasi penambahan serbuk kayu terhadap temperatur.



**Gambar 4.20** Grafik Porositas penambahan Serbuk kayu 0% terhadap variasi temperatur



**Gambar 4.21** Grafik Porositas penambahan Serbuk kayu 10% terhadap variasi temperatur

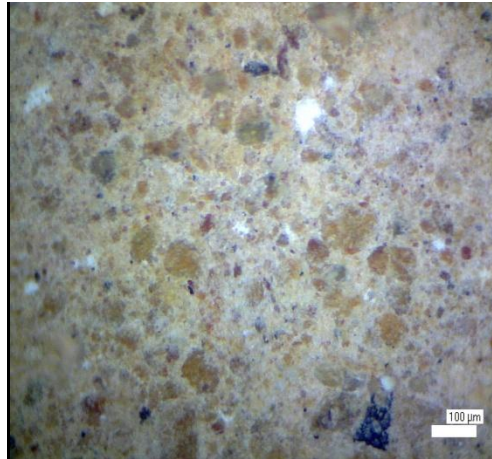


**Gambar 4.22** Grafik Porositas penambahan Serbuk kayu 20% terhadap variasi temperatur

Setelah melakukan perbandingan dari variasi Temperatur, Tekanan, dan serbuk kayu di dapatkan hasil pengukuran porositas dengan Serbuk Kayu 20%, Tekanan (P) 30 Mpa, Temperatur (T) 800°C. Hal ini disebabkan karena jika semakin banyak serbuk kayu yang dipakai maka dengan sendirinya porositas akan semakin besar karena serbuk kayu mudah teroksidasi dalam suhu tinggi.

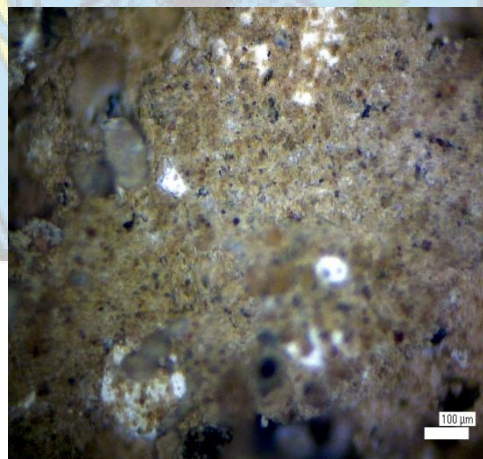
#### 4.6 Uji Foto Mikro

Dalam penelitian ini, karakteristik distribusi morfologi permukaan secara sederhana dilakukan dengan menggunakan mikroskop merk Krisbow yang merupakan mikroskop digital. Hasil karakterisasi distribusi morfologi permukaan dilakukan dengan pembesaran 100X untuk masing-masing sampel keramik paduan Tembaga Cu (0, 10, 20, 30, 40)% volume.



**Gambar 4.23** Foto Mikro Sampel Keramik Berpori dengan Tambahan bahan Aditif Tembaga Cu 0% dengan penambahan 20% Serbuk Kayu.

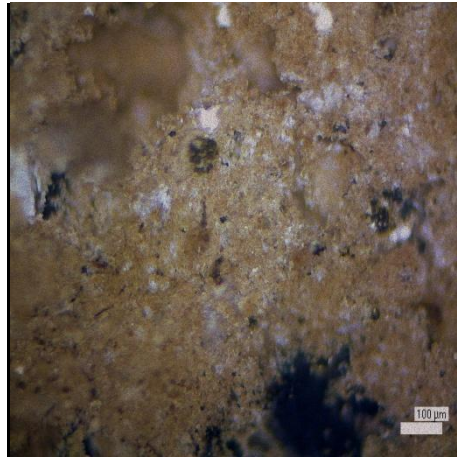
**Gambar 4.23** Menunjukkan hasil pengamatan struktur morfologi sampel keramik dengan tambahan bahan aditif tembaga Cu 0% secara umum memperlihatkan struktur yang berwarna coklat yang mendominasi adalah clay, struktur yang berwarna putih adalah Titanium dioksida, struktur yang berwarna hitam adalah karbon aktif sedangkan struktur Poly vinil Alcohol tidak kelihatan karena dengan temperatur 800°C akan teroksidasi.



**Gambar 4.24** Foto Mikro Sampel Keramik Berpori bahan Aditif Tembaga Cu 10% dengan penambahan 20% Serbuk Kayu.

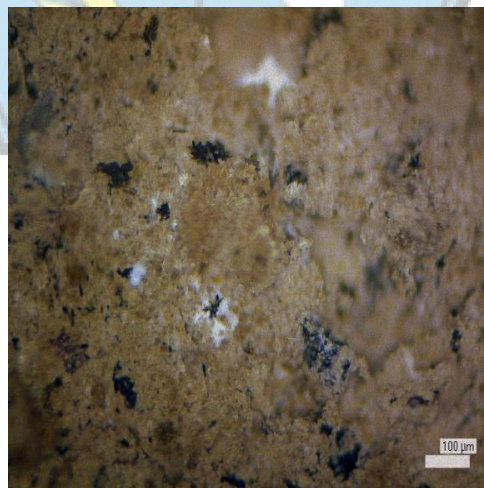
**Gambar 4.24** Menunjukkan hasil pengamatan struktur morfologi sampel keramik berpori dengan tambahan bahan aditif tembaga Cu 10% secara umum masih memperlihatkan struktur yang berwarna coklat yang mendominasi adalah clay, struktur yang berwarna putih adalah titanium dioksida, struktur yang berwarna hitam

adalah karbon aktif serta struktur permukaan sampel mulai terlihat warna kemerahan dikarenakan adanya penambahan tembaga sebesar 10%.



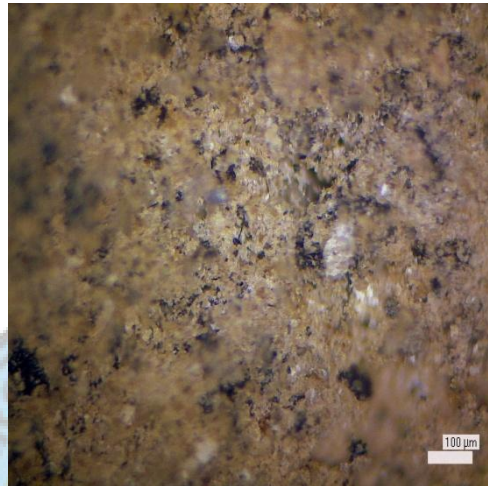
**Gambar 4.25** Foto Mikro Sampel Keramik Berpori dengan bahan Aditif Tembaga (Cu) 20% dengan penambahan 20% Serbuk Kayu.

**Gambar 4.25** Menunjukkan hasil pengamatan struktur morfologi sampel keramik berpori dengan tambahan bahan aditif tembagaCu 20% secara umum memperlihatkan struktur yang berwarna coklat yang mendominasi adalah clay, struktur yang putih yaitu titanium dioksida, struktur yang berwarna hitam adalah karbon aktif serta setruktur yang berwarna merah mulai terlihat lebih jelas dikarenakan adanya penambahan tembaga sebesar 20%.



**Gambar 4.26** Foto Mikro Sampel Keramik Berpori dengan bahan Aditif Tembaga Cu 30% dengan penambahan 20% Serbuk Kayu.

**Gambar 4.26** Menunjukkan hasil pengamatan struktur morfologi sampel keramik berpori dengan tambahan bahan aditif tembagaCu 30% secara umum memperlihatkan struktur yang berwarna coklat yang mendominasi adalah clay, struktur yang berwarna putih adalah titanium dioksida, struktur yang berwarna hitam adalah karbon aktif serta warna merah mulai terlihat sangat jelas karena adanya penambahan tembaga sebesar 30%.

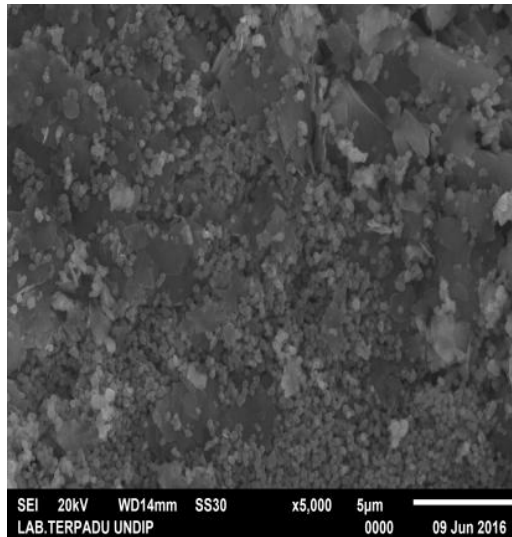


**Gambar 4.27** Foto Mikro Sampel Keramik Berpori dengan bahan Aditif Tembaga Cu 40% dengan penambahan 20% serbuk kayu.

**Gambar 4.27** Menunjukkan hasil pengamatan struktur morfologi sampel keramik berpori dengan tambahan bahan aditif tembaga Cu 40% secara umum memperlihatkan struktur yang berwarna coklat yang mendominasi adalah clay, struktur yang berwarna putih adalah titanium dioksida, struktur yang berwarna hitam adalah karbon aktif dan struktur yang berwarna merah adalah tembaga.

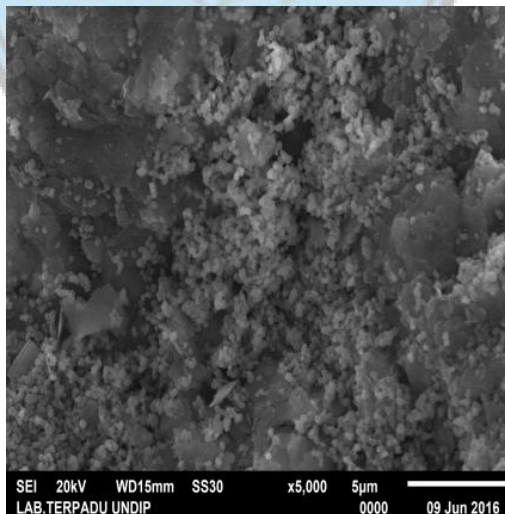
#### **4.7 Uji Scanning Electron Microscope (SEM)**

Dalam penelitian ini, karakteristik distribusi morfologi permukaan juga dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) bertujuan untuk menganalisa seberapa besar tingkat pori-pori yang ada di setiap sampel filter keramik berpori. Hasil karakterisasi distribusi morfologi permukaan dilakukan dengan pembesaran 5.000X untuk masing-masing sampel keramik berpori dengan bahan aditif Tembaga Cu (0, 10, 20, 30, 40)% volume, dan penambahan 20% serbuk kayu.



**Gambar 4.28** Foto SEM Sampel Keramik Berpori dengan Bahan Aditif Tembaga Cu 0% dan penambahan 20% serbuk kayu.

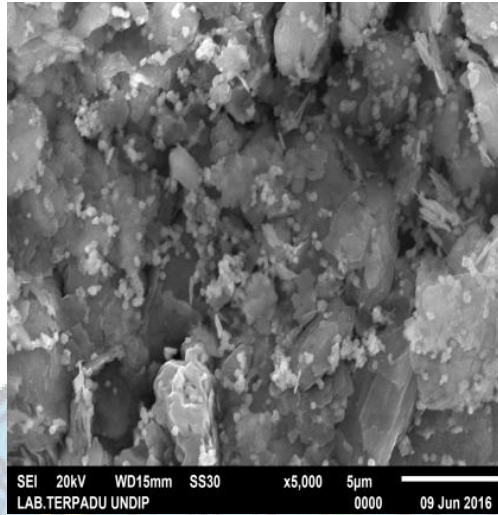
**Gambar 4.28** Menunjukkan hasil morfologi permukaan sampel filter keramik berpori dengan penambahna bahan aditif tembaga 0% setelah disentering 800°C dengan pembesaran 5.000X terlihat struktur partikel yang terbentuk adalah butiran bulat kecil yang berukuran partikel yang seragam berdiameter  $\pm 0,5 \mu\text{m}$  dan tampak terdistribusi secara merata diseluruh permukaan sampel sehingga diharapkan campuran ini secara visual telah homogen dan adanya porositas berdiameter  $\pm 0,5-1 \mu\text{m}$ .



**Gambar 4.29** Foto SEM Sampel Keramik Berpori dengan Bahan Aditif Tembaga Cu 10% dan penambahan 20% serbuk kayu.

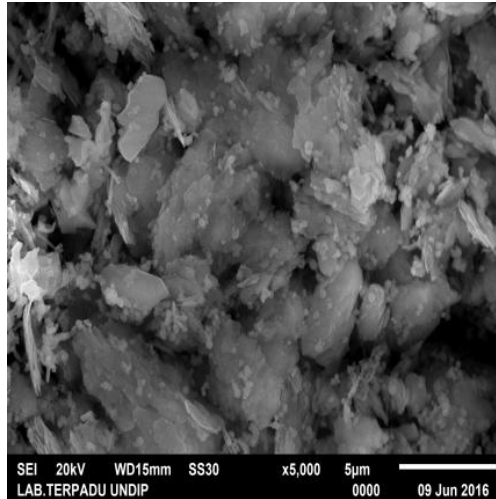


**Gambar 4.29** Menunjukkan hasil morfologi permukaan sampel filter keramik berpori dengan penambahan bahan aditif tembaga 10% setelah disintering 800°C dengan pembesaran 5.000X terlihat struktur partikel yang terbentuk lembaran dikarenakan adanya penambahan tembaga sebesar 10% dan adanya porositas  $\pm 0,5-4 \mu\text{m}$ , sehingga tingkat porositasnya tinggi.



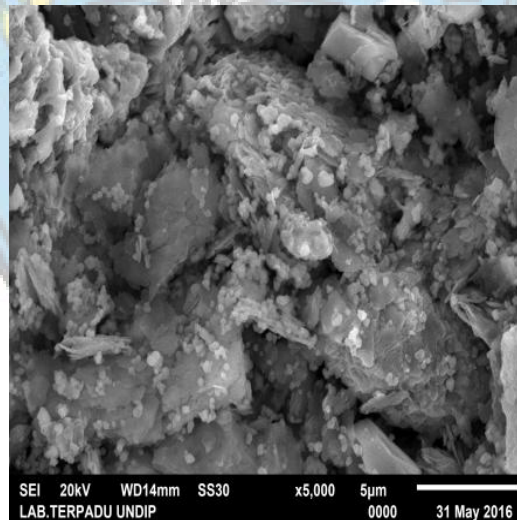
**Gambar 4.30** Foto SEM Sampel Keramik Berpori dengan Bahan Aditif Tembaga Cu 20% dan penambahan 20% serbuk kayu.

**Gambar 4.30** Menunjukkan hasil morfologi permukaan sampel filter keramik berpori dengan penambahan bahan aditif tembaga 20% setelah disintering 800°C dengan pembesaran 5.000X terlihat struktur partikel yang terbentuk tidak seragam dari bentuk maupun ukurannya. Bentuk yang paling mendominasi adalah berbentuk lembaran serta ada sedikit partikel yang berbentuk butiran serta adanya porositas  $\pm 0,5 \mu\text{m}$ , sehingga mengakibatkan tingkat porositas yang rendah.



**Gambar 4.31** Foto SEM Sampel Keramik Berpori dengan Bahan Aditif Tembaga Cu 30% dan penambahan 20% serbuk kayu.

**Gambar 4.31** Menunjukkan hasil morfologi permukaan sampel filter keramik berpori dengan penambahan bahan aditif tembaga 30% setelah disintering 800°C dengan pembesaran 5.000X terlihat struktur partikel yang berbentuk adalah butiran dan adanya porositas  $\pm 1-2 \mu\text{m}$  sehingga tingkat poristasnya tinggi.



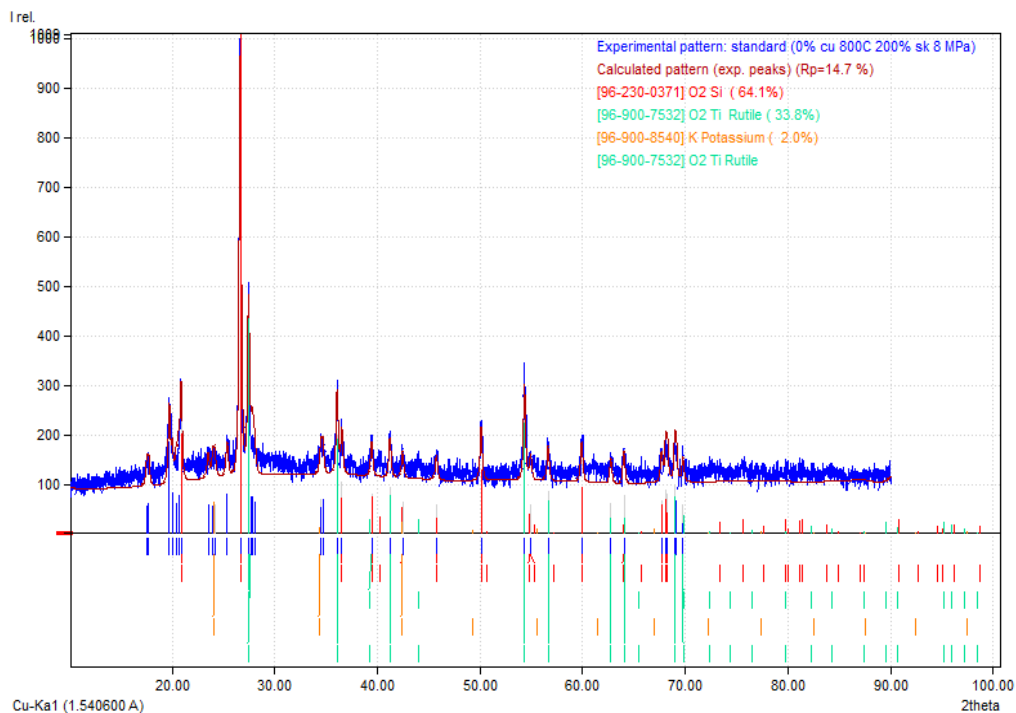
**Gambar 4.32** Foto SEM Sampel Keramik Berpori dengan Bahan Aditif Tembaga Cu 40% dan penambahan 20% serbuk kayu.

**Gambar 4.32** Menunjukkan hasil morfologi permukaan sampel keramik berpori dengan penambahan bahan aditif tembaga 40% setelah disintering 800°C

dengan pembesaran 5.000X terlihat struktur partikel yang berbentuk lembaran dan terlihat adanya porositas  $\pm 0,5-2 \mu\text{m}$  sehingga tingkat poristasnya tinggi.

#### 4.8 X-Ray Diffraction (XRD)

Dalam penelitian ini XRD digunakan untuk mengetahui bentuk-bentuk berbagai kristal dan unsur-unsur yang ada di dalam keramik berpori. Dengan komposisi material aditif tembaga (Cu) 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, campuran serbuk kayu 0%, 10%, 20%, tekanan (P) 20, 25, 30 Mpa, dan temperatur (T) 800°C, 900°C, 1000°C

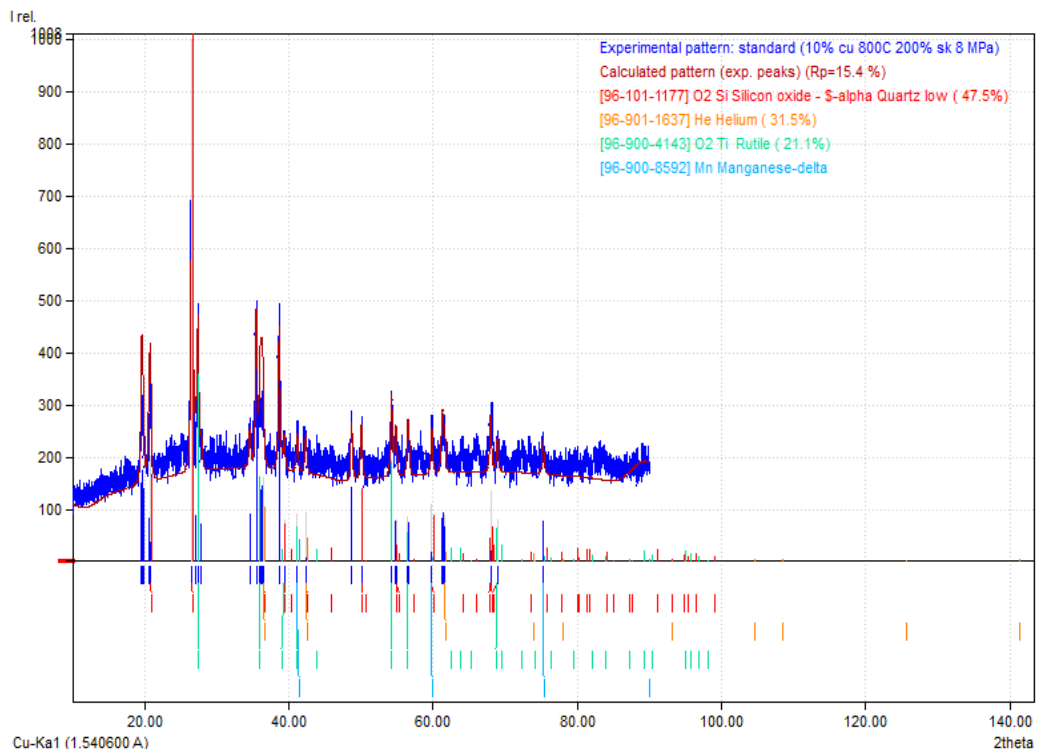


**Gambar 4.33** Grafik Pengujian XRD dengan aditif 0% tembaga (Cu) dengan penambahan 20% serbuk kayu

Grafik XRD Hasil dari pengujian spesimen dengan analisa menggunakan *software match* dengan aditif 0% tembaga (Cu) terdapat tiga peak tertinggi yaitu peak pertama pada 2theta adalah 26,59, dan angka intensitas adalah 691. Peak kedua pada 2theta adalah 27,41, dan intensitas adalah 272, dan peak ketiga pada 2theta adalah 54,27, intensitas 184. Ketiga peak tersebut mengandung unsur O2 Si (64,1%), O2 Ti Rutile (33,8%), K potassium (2%).

Untuk unsur O2 Si (64,1%) memiliki 12 peak dan berada pada posisi 2theta 20.85 ; 26.62 ; 36.52 ; 39.43 ; 45.75 ; 50.10 ; 54.93 ; 59.91 ; 64.02 ; 67.70 ;

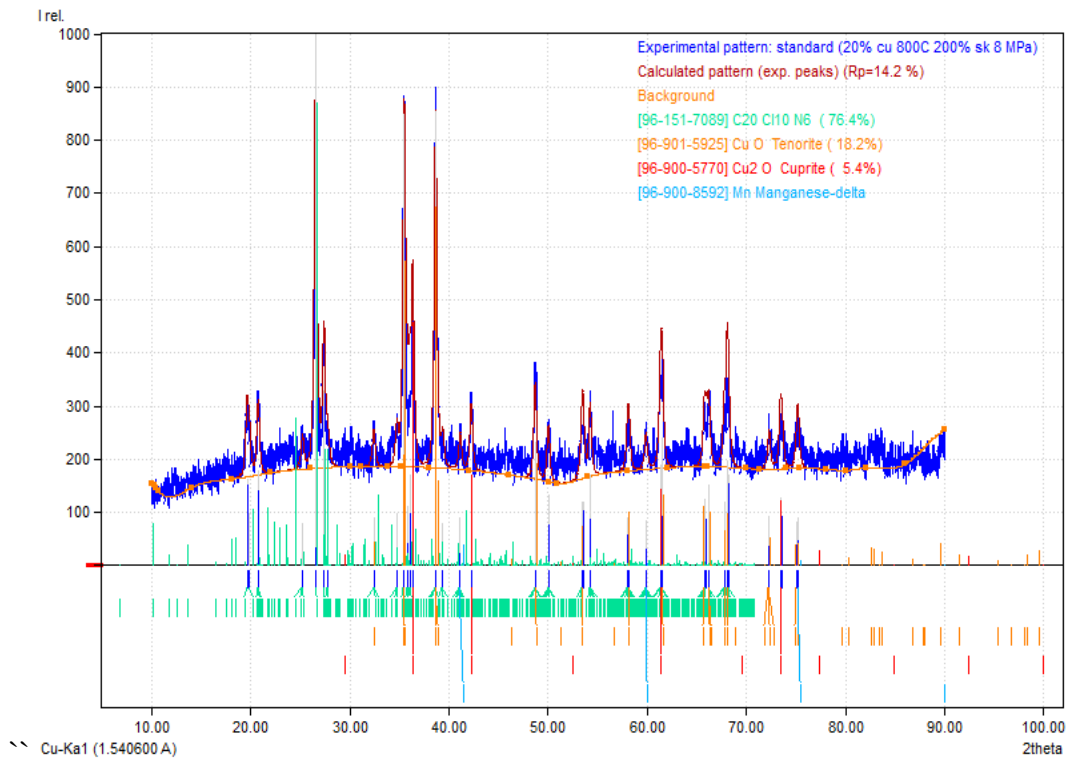
68.10 ; 68.27. O<sub>2</sub> Ti Rutile (33,8%) memiliki 10 peak dan berada pada posisi 2theta 27.44 ; 36.07 ; 39.43 ; 41.22 ; 54.32 ; 56.63 ; 62.74 ; 64.02 ; 68.99 ; 69.78. K potassium (2%) memiliki 3 peak dan berada pada posisi 2theta 24.15 ; 34.48 ; 42.44.



**Gambar 4.34** Grafik Pengujian XRD dengan aditif 10% tembaga (Cu) dengan penambahan 20% serbuk kayu

Grafik XRD dengan analisa menggunakan *software match* dengan aditif 10% tembaga (Cu) terdapat tiga peak tertinggi yaitu peak pertama pada 2theta adalah 26,59, dan angka intensitas adalah 496. Peak kedua pada 2theta adalah 35,52, dan angka intensitas adalah 178, dan peak ketiga pada 2theta adalah 38,68, angka intensitas 171. Ketiga peak tersebut mengandung unsur O<sub>2</sub> Si (Silikon oxide) 47,5%, He (helium) 31,5%, O<sub>2</sub> Ti (Rutile) 21,1%.

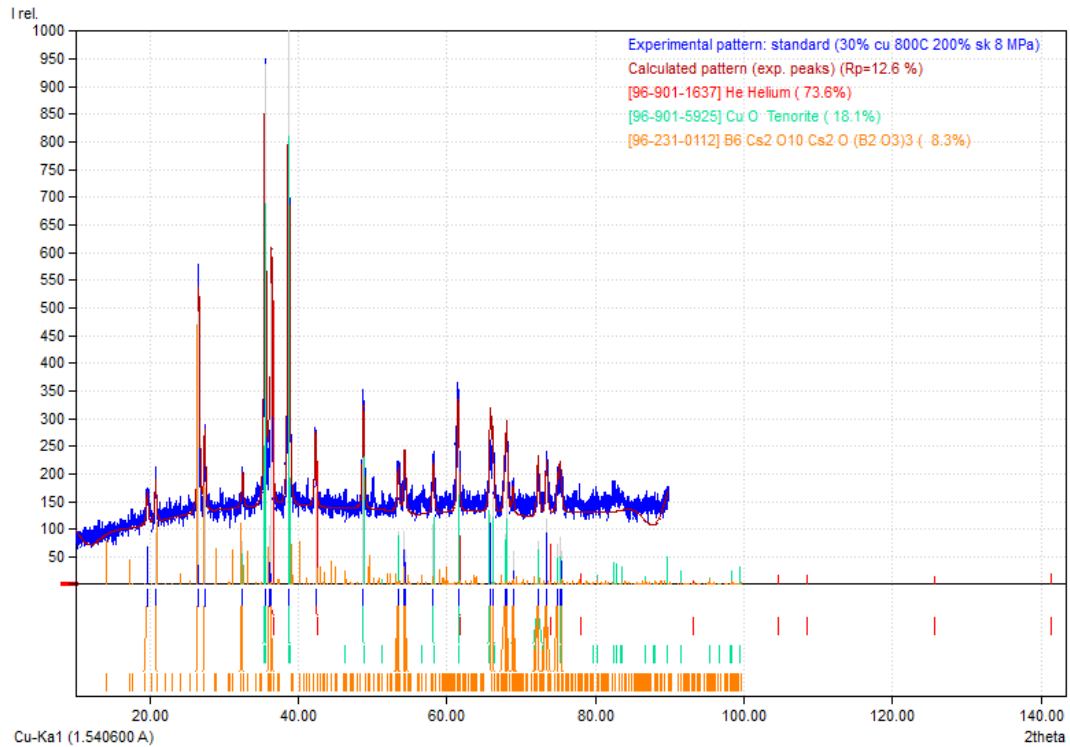
Unsur O<sub>2</sub> Si (Silikon oxide) 47,5% memiliki 10 peak dan berada pada posisisi 2theta 20.83 ; 26.58 ; 36.43 ; 39.38 ; 42.37 ; 50.08 ; 54.92 ; 59.84 ; 68.01 ; 68.94. He (helium) 31,5% memiliki 3 peak dan berada pada posisisi 2theta 36.43 ; 42.37 ; 61.64. O<sub>2</sub> Ti (Rutile) 21,1% memiliki 7 peak dan berada pada posisisi 2theta 27.41 ; 35.99 ; 39.38 ; 41.19 ; 54.25 ; 56.52 ; 68.94.



**Gambar 4.35** Grafik Pengujian XRD dengan aditif 20% tembaga (Cu) dengan penambahan 20% serbuk kayu

Grafik XRD dengan analisa menggunakan *software match* dengan aditif 20% tembaga (Cu) terdapat tiga peak tertinggi yaitu peak pertama pada 2theta adalah 26,54, dan angka intensitas adalah 482. Peak kedua pada 2theta adalah 38,63, dan angka intensitas adalah 433, dan peak ketiga pada 2theta adalah 35,45, angka intensitas 417. Ketiga peak tersebut mengandung unsur C<sub>20</sub> Cl<sub>10</sub> N<sub>6</sub> 76,4%, Cu O (Tenorite) 18,2%, Cu<sub>2</sub> O (Cuprite) 5,4%.

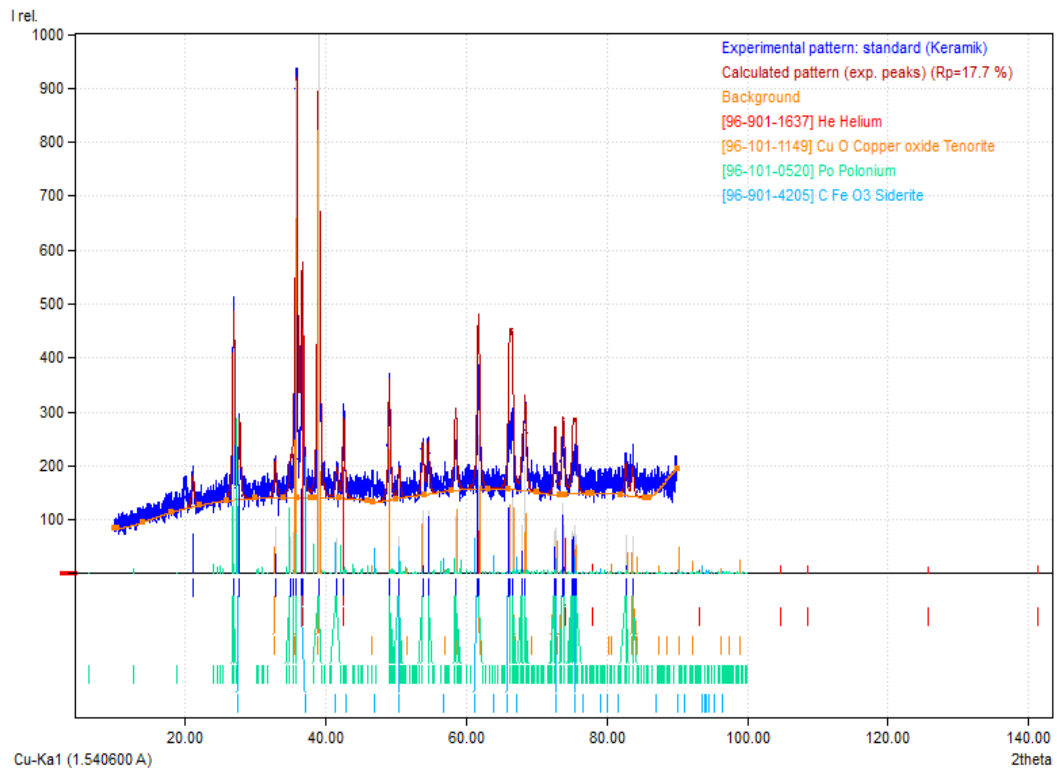
Unsur C<sub>20</sub> Cl<sub>10</sub> N<sub>6</sub> 76,4% memiliki 30 peak dan berada pada posisi 2theta 19.63 ; 19.87 ; 20.75 ; 25.23 ; 26.55 ; 27.39 ; 27.77 ; 32.41 ; 34.75 ; 35.48 ; 35.80 ; 36.03 ; 38.65 ; 39.37 ; 41.14 ; 48.70 ; 50.04 ; 53.41 ; 53.54 ; 54.24 ; 58.02 ; 58.16 ; 59.87 ; 61.32 ; 61.51 ; 65.76 ; 66.21 ; 67.76 ; 68.05 ; 68.16. Cu O (Tenorite) 18,2% memiliki 13 peak dan berada pada posisi 2theta 35.48 ; 38.65 ; 48.70 ; 53.41 ; 58.16 ; 61.51 ; 65.76 ; 66.21 ; 67.76 ; 68.05 ; 72.29 ; 75.12 ; 75.23. Cu<sub>2</sub> O (Cuprite) 5,4% memiliki 4 peak dan berada pada posisi 2theta 36.35 ; 42.24 ; 61.32 ; 73.43.



**Gambar 4.36** Grafik Pengujian XRD dengan aditif 30% tembaga (Cu) dengan penambahan 20% serbuk kayu

Grafik XRD dengan analisa menggunakan *software match* dengan aditif 30% tembaga (Cu) terdapat tiga peak tertinggi yaitu peak pertama pada 2theta adalah 38,82, dan angka intensitas adalah 932. Peak kedua pada 2theta adalah 35,65, dan angka intensitas adalah 843, dan peak ketiga pada 2theta adalah 36,52, angka intensitas 500. Ketiga peak tersebut mengandung unsur He (Helium) 73,6%, Cu O (Tenorite) 18,1%, B6 Cs2 O10 Cs2 O (B2 O3)3 8,3%.

Unsur He (Helium) 73,6% memiliki 3 peak dan berada pada posisi 2theta 36.40 ; 42.32 ; 61.52. Cu O (Tenorite) 18,1% memiliki 15 peak dan berada pada posisi 2theta 32.51 ; 35.54 ; 38.71 ; 48.77 ; 53.47 ; 58.18 ; 65.52 ; 65.81 ; 66.21 ; 67.80 ; 68.92 ; 72.25 ; 72.36 ; 74.92 ; 75.23. B6 Cs2 O10 Cs2 O (B2 O3)3 8,3% memiliki 19 peak dan berada pada posisi 2theta 20.80 ; 26.60 ; 27.42 ; 32.51 ; 36.09 ; 36.40 ; 53.47 ; 54.30 ; 54.43 ; 65.93 ; 66.21 ; 67.80 ; 68,07 ; 68.92 ; 72.25 ; 72.36 ; 73.43 ; 74.92 ; 75.44.



**Gambar 4.37** Grafik Pengujian XRD dengan aditif 40% tembaga (Cu) dengan penambahan 20% serbuk kayu

Grafik XRD dengan analisa menggunakan *software match* dengan aditif 40% tembaga (Cu) terdapat tiga peak tertinggi yaitu peak pertama pada 2theta adalah 39,01, dan angka intensitas adalah 735. Peak kedua pada 2theta adalah 35,83, dan angka intensitas adalah 664, dan peak ketiga pada 2theta adalah 36,69, angka intensitas 322. Ketiga peak tersebut mengandung unsur He (Helium), Cu O Copper oxide tenorite, Po Polonium.

Unsur He (Helium) memiliki 4 peak dan berada pada posisi 2theta 36.70 ; 42.56 ; 61.79 ; 73.91. Cu O Copper oxide tenorite memiliki 18 peak dan berada pada posisi 2theta 32.84 ; 35.45 ; 35.84 ; 39.00 ; 49.05 ; 53.79 ; 58.55 ; 61.79 ; 66.15 ; 66.58 ; 68.36 ; 72.57 ; 72.68 ; 73.71 ; 75.50 ; 75.65 ; 82.69 ; 83.67. Po Polonium memiliki 27 peak dan berada pada posisi 2theta 26.92 ; 27.73 ; 34.98 ; 35.45 ; 35.84 ; 39.00 ; 41.55 ; 48.05 ; 50.45 ; 53.79 ; 54.60 ; 58.44 ; 58.55 ; 61.79 ; 66.28 ; 66.58 ; 67.98 ; 68.36 ; 72.57 ; 72.68 ; 73.71 ; 73.91 ; 75.12 ; 75.27 ; 75.68 ; 82.69 ; 83.67.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Proses pembuatan keramik berpori sebagai filter gas emisi dilakukan dengan penggilingan, dengan bahan dasar Clay Banjar Negara 70%, Karbon Aktif 10%, *Poly Vinil Alcohol* (PVA) 10%, *Titanium Dioksida* ( $\text{TiO}_2$ ) 10%, Serbuk kayu 20% volume serta penambahna bahan aditif tembaga (Cu) 0%, 10%, 20%, 30%, 40% volume. Pencetakan dengan tekanan 30 Mpa penahanan selama 5 menit, serta pembakaran hingga temperatur 800°C dan penahanan selama 1 jam dengan laju pemanasan 5°C/menit. Dimensi spesimen keramik berpori berbentuk silinder dengan diameter 16,40 mm, dan tinggi 18,30 mm.
2. Dari hasil analisis EDS tersebut dinyatakan bahwa: *Titanium Dioksida* ( $\text{TiO}_2$ ) mendominasi kandungan Titanium (Ti) sebesar 56,26% dan Oksigen (O) sebesar 40,58%; Clay Banjar Negara mendominasi kandungan Oksigen (O) sebesar 43,36% dan Silikon (Si) sebesar 24,74%; *Poly Vinil Alcohol* (PVA) mendominasi kandungan Karbon (C) sebesar 95,91%; Tembaga (Cu) mendominasi kandungan Tembaga (Cu) sebesar % dan Karbon Aktif mendominasi kandungan Karbon (C) sebesar 75,49%.
3. Hasil pengukuran susut bakar

1. Hasil susut massa

Hasil pengukuran Susut Massa pada keramik berpori dengan tekanan 30 Mpa, serbuk kayu 20%, memiliki hasil susut massa 27% pada 0% Cu, 17% pada 10% Cu, 12% pada 20% Cu, 8% pada 30% Cu, -1% pada 40% Cu.

2. Hasil susut volume

Hasil pengukuran Susut Volume pada keramik berpori dengan tekanan 30 Mpa, serbuk kayu 20%, memiliki hasil susut massa 1% pada 0% Cu, -10% pada 10% Cu, -15% pada 20% Cu, -19% pada 30% Cu, -20% pada 40% Cu.



### 3. Hasil Densitas

Hasil pengukuran Densitas pada keramik berpori dengan tekanan 30 Mpa, serbuk kayu 20%, memiliki hasil susut massa 2,1 gr/cm<sup>3</sup> pada 0% Cu, 2,6 gr/cm<sup>3</sup> pada 10% Cu, 3,1 gr/cm<sup>3</sup> pada 20% Cu, 3,3 gr/cm<sup>3</sup> pada 30% Cu, - 3,1 gr/cm<sup>3</sup> pada 40% Cu.

### 4. Hasil Porositas

Hasil pengukuran Porositas pada keramik berpori dengan tekanan 30 Mpa, serbuk kayu 20%, memiliki hasil susut massa 49% pada 0% Cu, 48% pada 10% Cu, 47% pada 20% Cu, 48% pada 30% Cu, 45% pada 40% Cu.

4. Dalam pengujian Foto Mikro dapat disimpulkan hasil mikro struktur foto mikro diketahui semakin bertambahnya bahan Aditif terlihat warna merah semakin bertambah karena bertambahnya kandungan Cu, dalam pengujian SEM keramik berpori nilai porositas antara 0,5 - 4  $\mu$ m. Hal ini disebabkan pada penambahan aditif dan tekanan. Sedangkan dalam pengujian XRD terdapat tiga peak tertinggi pada setiap sampel keramik berpori dengan kandungan unsur yang berbeda-beda.

## 5.2 Saran

Setelah menganalisa hasil penelitian, maka dapat disarankan sebagai berikut:

1. Untuk penambahan serbuk kayu sebagai material foaming sebaiknya volumenya sedikit dikurangi karena jika terlalu banyak serbuk kayu yang digunakan akan menyebabkan porositas yang tinggi dan dapat membuat rapuh spesimen itu sendiri.
2. Penggunaan temperatur tinggi juga dapat membuat spesimen menjadi hitam dan sangat mudah rapuh karena material didalamnya memiliki sifat yang berbeda-beda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adi. J dan Maiyanti. A.A, 2014. *Karakteristik Mikroskopik Keramik Batako Terhadap Variasi Penambahan Sekam Tebu*. Surabaya: Universitas Erlangga Surabaya.
- Agil Fadilah, dkk, 2015 *X-Ray Diffraction*. Jurnal Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Islam Negeri Gunung Jati Bandung
- Amin. M dan Subri. M. 2015. *Pengaruh Tanbahan Tembaga Terhadap Densitas Material Ceramic Matrix Composit (CMC) Untuk Aplikasi Filter Gas Emisi Kendaraan*. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang. Traksi Vol. 15 No. 1 Juni 2015. ISSN: 1693-3451.
- Asyari .D.A, 2012 . *Pembuatan Keramik Berpori Sebagai Filter Gas Buang Dengan Aditif Karbon Aktif*, Jurnal *USU e-Respository* Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara Medan.
- Discha. F. E dan Rahmania. A, 2014 *Prarancangan Pabrik Polivinil Alkohol Dari Vinil Asetat Monomer Dan Metanol Dengan Kapasitas 30.000 Ton/Tahun*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Ellyanie, 2011 *Pengaruh Penggunaan Three-Way Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang Pada Kendaraan Toyota Innova*. Palembang: UNSRI
- Fahmi. M, 2015 *Karakterisasi Katalis  $TiO_2$  Dan  $TiO_2$ /Karbon Aktif Yang Dimobilisasi Pada Plat Titanium Dan Uji Aktifitasnya Sebagai Fotokatalis* Jurnal *Kimia Indonesia* Vol.1 (2) h. 54-58 Puspitek Serpong.
- Gade. M, 2012 *Keramik Kordierite Berpori Sebagai Bahan Aditif Gas Buang*. (Jurnal). Medan: UMN Al-Washilah.
- Ilcham. A, dkk, 2013 . *Pengaruh Oli Sludge Pertamina Surabaya Terhadap Kuat Tekan Keramik Tradisional*. Yogyakarta: UPN Veteran. Vol. 11. Nomor 1 Juni 2013. ISSN : 2460-8203.
- Irawan. B. RM, 2010 *Efektifitas Katalis Material Substrat Paduan CuZn (Kuningan) Dalam Mereduksi Emisi Gas Karbon Monoksida Motor Bensin*. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang. Traksi majalah ilmiah Teknik Mesin Vol 10. No 2 (2010) ISSN : 1693-3451.

- Miranti. S.T, 2012 *Pembuatan Karbon Aktif Dari Bambu Dengan Metode Aktivasi Terkontrol Menggunakan Activating Agent H<sub>2</sub> PO<sub>4</sub> Dan KOH*. Depok: Universitas Indonesia.
- Munwirul, 2011 *Scanning Electron Microscope & Energy dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS)*
- Naria. E, 2005 *Mewaspada Dampak Bahan Pencemar Timbal (Pb) Dilingkungan Terhadap Kesehatan*. (Jurnal). Medan: Universitas Sumatra Utara. Jurnal komunikasi penelitian Volume 17 (4) 2005.
- Nugrokh, 2012 *Analisis Kegagalan Las Dan Rekomendasi Standard Operating Procedure (SOP) Pada Pengelasan Pipa Kondensor PT. Siemens Indonesia*. (Jurnal). Semarang: Universitas Diponegoro. eprints.undip.ac.id
- Oktaviawan. N. A, 2010 *Pemeriksaan Mikrostruktur Dan Analisis Unsur Almgsl1 Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM)-EDS Jurnal Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron Dan Sinar -X Ke.2 ISSN 1450-7686 Serpong Tangerang*
- Puspitasari. D. 2013. *Analisa Sifat Mekanik Dan Foto Mikroskopis Keramik Berbahan Dasar Lempung Bersisik (Scaly Clay) Formasi Karang Sambung Kebumen*. Semarang: Universitas Negeri Semarang. Jurnal Fisika dan Aplikasinya Spektra: Vol 14, No 1 (2013).
- Ramdja. F. A, 2008 *pembuatan karbon aktif dari pelepah kelapa (cocus nucifera)*
- Shofa, 2012 *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu Dengan Aktivasi Kalium Hidroksida*. (Jurnal). Depok: Universitas Indonesia.
- Sihite. D. R, 2008 *Pembuatan Dan Karakterisasi Bahan Keramik Berpori Dengan Aditif Sekam Padi Yang Digunakan Sebagai Filter Gas Buang*. (Jurnal). Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Sucipto. D. A, dkk, 2014 *Pengaruh Densitas Bahan Organik Berskala Milli-Liter (Ml) Dengan Metode Levitasi Magneta-Archimedes Menggunakan Sumber Magnet tunggal*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sugiarti, 2009 *Gas Pencemaran Udara Dan Pengaruh Bagi Kesehatan Manusia*. Makassar: Universitas Negeri Makassar. Jurnal chemica Vol. 10 Nomor 1 Juni 2009, 50-58. ISSN: 1411-6502.
- Sukimo, 2014 *Porositas Batu Bata*. Lampung: Universitas Lampung.

- Susanti, 2012 *Preparasi TiO<sub>2</sub>-Anatas Tersensitifkan Nanopartikel Perak (TiO<sub>2</sub>A@Ag) Untuk Foto Degradasi Metilin Biru.* (Jurnal). Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sutapa. A.A.G, 2011 *Porositas Kekuatan Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Agregat Kasar Pecah Pasca Di Bakar.* Denpasar: Universitas Udayana.
- Syakur. A, 2008 *Pengaruh Unsur Besi dan Stronsium Terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik a-Al8Fe2Si.* (Jurnal). Depok: Universitas Indonesia. FT. UI 2008.
- Taryana. M, 2002 *Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair.* Jurnal Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.



Lampiran 1 Tabel Pengukuran Susut Bakar temperatur 800°c

800 °C	P	SK	t mm	O mm	$\pi$	O/2 mm	Vsb mm <sup>3</sup>	t mm	O mm	$\pi$	O/2 mm	Vss mm <sup>3</sup>	Vsb-Vss	SSV (%)	Msb gr	Mss gr	Mb gr	Msb-Mss	SSM (%)	
Cu 5%	20	0%	13,84	16,4	3,14	8,2	2922,09	14,82	16,02	3,14	8,01	2985,68	-63,59	-2,176	4,19	3,43	4,69	0,76	18,138	
	10%	15,06	16,4	3,14	8,2	3179,67	15	16,48	3,14	8,24	3197,98	-18,30	-0,576	4,52	3,65	5,1	0,87	19,248		
	20%	14	16,4	3,14	8,2	2955,87	14,4	16,48	3,14	8,24	3070,06	-114,19	-3,863	4,07	3,09	4,58	0,98	24,079		
	30%	15,22	16,4	3,14	8,2	3213,45	15,5	0	3,14	0	0,00	3213,45	100,000	4,28	3,24	0	1,04	24,299		
	40%	15,22	16,4	3,14	8,2	3213,45	15,9	0	3,14	0	0,00	3213,45	100,000	4,01	2,84	0	1,17	29,177		
	25	0%	14,5	16,4	3,14	8,2	3167,00	14,4	16,38	3,14	8,19	3032,91	134,09	4,234	4,5	3,72	5,04	0,78	17,333	
	10%	12,22	16,4	3,14	8,2	3167,00	14,4	16,42	3,14	8,21	3047,74	119,26	3,766	4,4	3,55	4,91	0,85	19,318		
	20%	14,42	16,4	3,14	8,2	3221,90	14,6	16,46	3,14	8,23	3105,15	116,75	3,624	4,19	3,17	4,63	1,02	24,344		
	30%	14,28	16,4	3,14	8,2	3150,11	14,8	16,46	3,14	8,23	3147,68	2,43	0,077	4,21	3,13	4,71	1,08	25,653		
	40%	14,5	16,4	3,14	8,2	3061,44	15	0	3,14	0	0,00	3061,44	100,000	4,15	2,94	4,48	1,21	29,157		
	30	0%	14,2	16,4	3,14	8,2	3019,21	14,4	16,44	3,14	8,22	3055,17	-35,96	-1,191	4,52	3,73	5,02	0,79	17,478	
	10%	13,72	16,4	3,14	8,2	2976,98	14,8	16,42	3,14	8,21	3132,40	-155,42	-5,221	4,28	3,47	4,69	0,81	18,925		
	20%	13,92	16,4	3,14	8,2	3023,43	14,18	16,42	3,14	8,21	3001,18	22,25	0,736	4,17	3,05	4,51	1,12	26,859		
	30%	14,64	16,4	3,14	8,2	3167,00	0	16,44	3,14	8,22	0,00	3167,00	100,000	4,22	0	4,66	4,22	100,000		
	40%	14,64	16,4	3,14	8,2	3145,89	0	0	3,14	0	0,00	3145,89	100,000	4,13	0	0	4,13	100,000		
	Cu 10%	20	0%	14,84	16,4	3,14	8,2	3133,22	15,16	14,46	3,14	7,23	2488,32	644,91	20,583	5,23	4,62	5,99	0,61	11,66
		10%	14,34	16,4	3,14	8,2	3027,66	14,66	16,48	3,14	8,24	3125,49	-97,83	-3,231	5,07	4,3	5,68	0,77	15,19	
		20%	15,26	16,4	3,14	8,2	3221,90	16,12	16,48	3,14	8,24	3436,76	-214,86	-6,669	5,3	4,33	5,95	0,97	18,30	
		30%	15,2	16,4	3,14	8,2	3209,23	0	0	3,14	0	0,00	3209,23	100,000	4,56	0	0	4,56	100,00	
		40%	16,08	16,4	3,14	8,2	3395,03	0	0	3,14	0	0,00	3395,03	100,000	4,8	0	0	4,8	100,00	
25		0%	15	16,4	3,14	8,2	3167,00	15,34	16,48	3,14	8,24	3270,46	-103,46	-3,267	5,38	4,72	6,1	0,66	12,27	
10%		15	16,4	3,14	8,2	3167,00	15,22	16,48	3,14	8,24	3244,88	-77,88	-2,459	5,28	4,55	5,95	0,73	13,83		
20%		15,26	16,4	3,14	8,2	3221,90	16,08	16,48	3,14	8,24	3428,23	-206,33	-6,404	5,25	4,37	5,94	0,88	16,76		
30%		14,92	16,4	3,14	8,2	3150,11	0	0	3,14	0	0,00	3150,11	100,000	4,74	0	5,42	4,74	100,00		
40%		14,5	16,4	3,14	8,2	3061,44	0	0	3,14	0	0,00	3061,44	100,000	4,57	0	0	4,57	100,00		
30		0%	14,3	16,4	3,14	8,2	3019,21	14,72	16,58	3,14	8,29	3176,48	-157,27	-5,209	5,28	4,62	5,89	0,66	12,50	
10%		14,1	16,4	3,14	8,2	2976,98	14,64	16,54	3,14	8,27	3143,99	-167,01	-5,610	5,03	4,26	5,66	0,77	15,31		
20%		14,32	16,4	3,14	8,2	3023,43	15,28	16,62	3,14	8,31	3313,26	-289,82	-9,586	5,03	4,06	5,66	0,97	19,28		
30%		15	16,4	3,14	8,2	3167,00	0	0	3,14	0	0,00	3167,00	100,000	4,76	0	0	4,76	100,00		
40%		14,9	16,4	3,14	8,2	3145,89	0	0	3,14	0	0,00	3145,89	100,000	4,66	0	0	4,66	100,00		
Cu 20%		20	0%	15,4	16,4	3,14	8,2	3251,46	16,08	16,62	3,14	8,31	3486,73	-235,27	-7,236	6,22	5,79	7,22	0,43	6,91
		10%	16,8	16,4	3,14	8,2	3547,04	17,62	16,62	3,14	8,31	3820,65	-273,61	-7,714	6,6	6	7,68	0,6	9,09	
		20%	16,88	16,4	3,14	8,2	3563,94	18,42	16,72	3,14	8,36	4042,33	-478,40	-13,423	6,58	5,81	7,78	0,77	11,70	
		30%	16,2	16,4	3,14	8,2	3420,36	0	0	3,14	0	0,00	3420,36	100,000	5,63	0	0	5,63	100,00	
		40%	15,84	16,4	3,14	8,2	3344,36	0	0	3,14	0	0,00	3344,36	100,000	5,25	0	0	5,25	100,00	
	25	0%	15,26	16,4	3,14	8,2	3221,90	16,08	16,56	3,14	8,28	3461,60	-239,70	-7,440	6,2	5,87	7,1	0,33	5,32	
	10%	15,3	16,4	3,14	8,2	3230,34	15,72	16,58	3,14	8,29	3392,28	-161,93	-5,013	6,29	5,57	7,15	0,72	11,45		
	20%	15,82	16,4	3,14	8,2	3340,13	16,92	16,64	3,14	8,32	3677,70	-337,57	-10,106	5,19	5,5	7,27	-0,31	-5,97		
	30%	15,58	16,4	3,14	8,2	3289,46	16,12	16,58	3,14	8,29	3478,59	-189,13	-5,750	5,6	4,57	6,62	1,03	18,39		
	40%	15,7	16,4	3,14	8,2	3314,80	0	0	3,14	0	0,00	3314,80	100,000	5,34	0	0	5,34	100,00		
	30	0%	15,3	16,4	3,14	8,2	3230,34	15,82	16,56	3,14	8,28	3405,62	-175,28	-5,426	6,36	5,75	7,24	0,61	9,59	
	10%	15	16,4	3,14	8,2	3167,00	16,16	16,68	3,14	8,34	3529,42	-362,41	-11,443	6,11	5,7	7,01	0,41	6,71		
	20%	15,38	16,4	3,14	8,2	3247,23	17,16	16,64	3,14	8,32	3729,87	-482,63	-14,863	6,22	5,47	7,21	0,75	12,06		
	30%	14,76	16,4	3,14	8,2	3116,33	16,78	16,62	3,14	8,31	3638,51	-522,18	-16,756	5,45	4,75	6,27	0,7	12,84		
	40%	14,5	16,4	3,14	8,2	3061,44	0	0	3,14	0	0,00	3061,44	100,000	5,87	0	0	5,87	100,00		

<b>Cu 30%</b>	20	0%	14,1	16,4	3,14	8,2	2976,98	14,1	16,44	3,14	8,22	2991,52	-14,54	-0,488	4,4	3,61	4,87	0,79	17,95	
		10%	19,9	16,4	3,14	8,2	4201,56	20,2	16,82	3,14	8,41	4486,14	-284,58	-6,773	7,92	7,53	9,52	0,39	4,92	
		20%	19,4	16,4	3,14	8,2	4095,99	21,5	16,88	3,14	8,44	4808,98	-712,99	-17,407	7,6	7	9,2	0,6	7,89	
		30%	17,9	16,4	3,14	8,2	3779,29	17,6	0	3,14	0	0,00	3779,29	100,000	5,1	4,09	5,47	1,01	19,80	
		40%	16,3	16,4	3,14	8,2	3441,48	15,8	0	3,14	0	0,00	3441,48	100,000	4,26	2,9	0	1,36	31,92	
	25	0%	13,2	16,4	3,14	8,2	2786,96	18,4	16,48	3,14	8,24	3922,85	1135,89	-40,757	4,08	3,36	4,62	0,72	17,65	
		10%	17,9	16,4	3,14	8,2	3779,29	18,2	16,78	3,14	8,39	4022,77	-243,48	-6,442	7,16	6,81	8,66	0,35	4,89	
		20%	18,8	16,4	3,14	8,2	3969,31	20,9	16,88	3,14	8,44	4674,78	-705,46	-17,773	7,31	6,8	9	0,51	6,98	
		30%	16,1	16,4	3,14	8,2	3399,25	17,1	16,42	3,14	8,21	3619,20	-219,94	-6,470	4,99	3,99	5,77	1	20,04	
		40%	16,1	16,4	3,14	8,2	3399,25	17	0	3,14	0	0,00	3399,25	100,000	4,26	3	0	1,26	29,58	
		30	0%	13,1	16,4	3,14	8,2	2765,85	13,1	16,38	3,14	8,19	2759,11	6,74	0,244	4,04	3,37	4,54	0,67	16,58
		10%	17,9	16,4	3,14	8,2	3779,29	18,4	16,86	3,14	8,43	4105,85	-326,55	-8,641	7,3	6,94	8,77	0,36	4,93	
	20%	16,3	16,4	3,14	8,2	3441,48	18,6	16,74	3,14	8,37	4091,60	-650,13	-18,891	6,61	6,11	8,08	0,5	7,56		
	30%	17,5	16,4	3,14	8,2	3694,84	18,7	16,48	3,14	8,24	3986,81	-291,97	-7,902	5,5	4,4	6,4	1,1	20,00		
	40%	15,7	16,4	3,14	8,2	3314,80	16,4	0	3,14	0	0,00	3314,80	100,000	4,22	2,96	0	1,26	29,86		
<b>Cu 40%</b>	20	0%	14,4	16,4	3,14	8,2	3040,32	15,4	16,64	3,14	8,32	3347,32	-306,99	-10,097	5,75	5,36	6,85	0,39	6,78	
		10%	19,4	16,4	3,14	8,2	4095,99	21,1	0	3,14	0	0,00	4095,99	100,000	8,23	8	0	0,23	2,79	
		20%	19,2	16,4	3,14	8,2	4053,77	22,9	0	3,14	0	0,00	4053,77	100,000	8,32	7,98	0	0,34	4,09	
		30%	17,9	16,4	3,14	8,2	3779,29	19,6	0	3,14	0	0,00	3779,29	100,000	6,04	5,38	0	0,66	10,93	
		40%	18,2	16,4	3,14	8,2	3842,63	0	0	3,14	0	0,00	3842,63	100,000	5,61	4,52	0	1,09	19,43	
	25	0%	15,7	16,4	3,14	8,2	3314,80	16,2	16,64	3,14	8,32	3521,21	-206,41	-6,227	6,4	5,96	7,43	0,44	6,88	
		10%	19,3	16,4	3,14	8,2	4074,88	21,6	17,02	3,14	8,51	4911,82	-836,94	-20,539	8,12	7,86	10,3	0,26	3,20	
		20%	19,5	16,4	3,14	8,2	4117,11	22,6	17,02	3,14	8,51	5139,22	1022,11	-24,826	8,21	7,91	0	0,3	3,65	
		30%	14,7	16,4	3,14	8,2	3103,66	22,4	0	3,14	0	0,00	3103,66	100,000	7,1	6,31	0	0,79	11,13	
		40%	18,5	16,4	3,14	8,2	3905,97	21,9	0	3,14	0	0,00	3905,97	100,000	5,93	4,89	0	1,04	17,54	
		30	0%	21,6	16,4	3,14	8,2	4560,49	23,4	17,02	3,14	8,51	5321,14	-760,65	-16,679	16,3	10,4	12,79	5,9	36,20
		10%	18,4	16,4	3,14	8,2	3884,86	20,5	17,02	3,14	8,51	4661,68	-776,82	-19,996	8,1	7,85	10,01	0,25	3,09	
	20%	18,3	16,4	3,14	8,2	3863,74	20,4	17,02	3,14	8,51	4638,94	-775,20	-20,063	8,5	8,56	10,63	-0,06	-0,71		
	30%	16,5	16,4	3,14	8,2	3483,70	19,2	0	3,14	0	0,00	3483,70	100,000	6,2	5,85	0	0,35	5,65		
	40%	16,6	16,4	3,14	8,2	3504,82	19,1	0	3,14	0	0,00	3504,82	100,000	5,4	4,46	0	0,94	17,41		



Lampiran 2

Hasil Susut Bakar

	P	SK	t mm	Ø mm	π	Ø/2 mm	Vsb mm <sup>3</sup>	t mm	Ø mm	π	Ø/2 mm	Vss mm <sup>3</sup>	Vsb-Vss	SSV (%)	Msb gr	Mss gr	Mb gr	Msb-Mss	SSM (%)	
<b>900 °C</b>	20	0%	19,8	16,4	3,14	8,2	4180,45	14,9	16,32	3,14	8,16	3115,27	1065,17	25,480	4,22	3,49	4,73	0,73	17,30	
		10%	16,48	16,4	3,14	8,2	3479,48	16,2	16,34	3,14	8,17	3395,38	84,10	2,417	4,77	3,83	5,39	0,94	19,71	
		20%	14,27	16,4	3,14	8,2	3012,88	14,9	0	3,14	0	0,00	3012,88	100,000	4,31	3,57	5,09	0,74	17,17	
		30%	16,48	16,4	3,14	8,2	3479,48	16,6	16,32	3,14	8,16	3470,71	8,77	0,252	4,5	3,32	4,87	1,18	26,22	
		40%	17,98	16,4	3,14	8,2	3796,18	17,9	0	3,14	0	0,00	3796,18	100,000	4,38	3,09	5,1	1,29	29,45	
	25	0%	14	16,4	3,14	8,2	2955,87	14,9	16,36	3,14	8,18	3130,56	-174,69	-5,910	4,35	3,59	4,85	0,76	17,47	
		10%	15,16	16,4	3,14	8,2	3200,79	15,4	16,38	3,14	8,19	3243,53	-42,75	-1,336	4,58	3,67	5,12	0,91	19,87	
		20%	13,85	16,4	3,14	8,2	2924,20	13,1	16,38	3,14	8,19	2759,11	165,09	5,646	4,08	3,34	4,53	0,74	18,14	
		30%	13,46	16,4	3,14	8,2	2841,86	14,9	16,28	3,14	8,14	3100,02	-258,16	-9,084	3,78	3,77	4,21	0,01	0,26	
		40%	15,9	16,4	3,14	8,2	3357,02	15,8	0	3,14	0	0,00	3357,02	100,000	4,11	2,91	0	1,2	29,20	
		30	0%	13,56	16,4	3,14	8,2	2862,97	13,5	16,34	3,14	8,17	2829,49	33,49	1,170	4,26	3,51	4,7	0,75	17,61
		10%	13,36	16,4	3,14	8,2	2820,74	13,5	16,28	3,14	8,14	2808,74	12,00	0,425	4,17	3,35	4,57	0,82	19,66	
	20%	12,14	16,4	3,14	8,2	2563,16	12,1	16,32	3,14	8,16	2529,85	33,31	1,300	3,76	3,13	4,17	0,63	16,76		
	30%	13,61	16,4	3,14	8,2	2873,53	14,1	16,32	3,14	8,16	2948,01	-74,48	-2,592	3,92	2,94	4,4	0,98	25,00		
	40%	13,36	16,4	3,14	8,2	2820,74	14,1	0	3,14	0	0,00	2820,74	100,000	3,7	2,66	0	1,04	28,11		

Cu 10%	20	0%	17,9	16,4	3,14	8,2	3779,29	17,9	16,18	3,14	8,09	3678,58	100,72	2,665	5,94	5,34	6,79	0,6	10,10
	10%	17	16,4	3,14	8,2	3589,27	17,3	16,34	3,14	8,17	3625,93	-36,66	-1,021	5,41	5,11	6,01	0,3	5,55	
	20%	15,16	16,4	3,14	8,2	3200,79	15,2	16,18	3,14	8,09	3123,71	77,08	2,408	5,32	4,71	6,59	0,61	11,47	
	30%	15,46	16,4	3,14	8,2	3264,13	16,3	0	3,14	0	0,00	3264,13	100,000	4,6	3,57	0	1,03	22,39	
	40%	16,81	16,4	3,14	8,2	3549,16	17,9	0	3,14	0	0,00	3549,16	100,000	4,77	3,68	0	1,09	22,85	
	25	0%	14,27	16,4	3,14	8,2	3012,88	14,5	16,18	3,14	8,09	2979,85	33,02	1,096	5,1	4,53	5,7	0,57	11,18
	10%	14,97	16,4	3,14	8,2	3160,67	14,9	16,18	3,14	8,09	3062,05	98,62	3,120	4,8	4,16	5,35	0,64	13,33	
	20%	14,07	16,4	3,14	8,2	2970,65	14,3	16,22	3,14	8,11	2953,30	17,35	0,584	5,07	4,53	5,7	0,54	10,65	
	30%	15,9	16,4	3,14	8,2	3357,02	16,9	16,18	3,14	8,09	3473,07	-116,04	-3,457	4,62	3,65	5,3	0,97	21,00	
	40%	13,27	16,4	3,14	8,2	2801,74	15,2	0	3,14	0	0,00	2801,74	100,000	4,35	3,34	0	1,01	23,22	
	30	0%	12,65	16,4	3,14	8,2	2670,84	14,05	16,14	3,14	8,07	2873,12	-202,28	-7,573	4,61	4,05	5,03	0,56	12,15
	10%	13,46	16,4	3,14	8,2	2841,86	14,1	16,12	3,14	8,06	2876,20	-34,34	-1,208	4,76	4,1	5,24	0,66	13,87	
	20%	14,07	16,4	3,14	8,2	2970,65	14,54	16,12	3,14	8,06	2965,95	4,70	0,158	5,13	4,54	5,65	0,59	11,50	
30%	14,17	16,4	3,14	8,2	2991,76	13,53	15,88	3,14	7,94	2678,36	313,41	10,476	4,94	3,53	5,04	1,41	28,54		
40%	13,26	16,4	3,14	8,2	2799,63	13,14	0	3,14	0	0,00	2799,63	100,000	4,11	3,14	0	0,97	23,60		

Cu 20%	20	0%	16,4	16,4	3,14	8,2	3462,59	17,02	16,38	3,14	8,19	3584,73	-122,14	-3,528	6,49	6,07	7,55	0,42	6,47
	10%	15,5	16,4	3,14	8,2	3272,57	15,82	16,14	3,14	8,07	3235,07	37,50	1,146	6,02	5,25	6,9	0,77	12,79	
	20%	18,1	16,4	3,14	8,2	3821,52	18,64	16,18	3,14	8,09	3830,65	-9,13	-0,239	7,07	6,52	8,1	0,55	7,78	
	30%	17,6	16,4	3,14	8,2	3715,95	19,28	16,28	3,14	8,14	4011,30	-295,35	-7,948	5,84	4,87	7,08	0,97	16,61	
	40%	16,7	16,4	3,14	8,2	3525,93	0	0	3,14	0	0,00	3525,93	100,000	5,12	0	5,89	5,12	100,00	
	25	0%	12	16,4	3,14	8,2	2533,60	12,06	16,12	3,14	8,06	2460,07	73,54	2,902	3,94	3,35	4,34	0,59	14,97
	10%	15,7	16,4	3,14	8,2	3314,80	16,16	16,12	3,14	8,06	3296,41	18,39	0,555	6,1	5,59	7,01	0,51	8,36	
	20%	14,1	16,4	3,14	8,2	2976,98	14,38	16,32	3,14	8,16	3006,55	-29,37	-0,993	5,05	4,46	5,68	0,59	11,68	
	30%	15,1	16,4	3,14	8,2	3188,12	17,06	15,62	3,14	7,81	3267,46	-79,35	-2,489	4,29	4,49	6,54	-0,2	-4,66	
	40%	17,1	16,4	3,14	8,2	3610,38	0	0	3,14	0	0,00	3610,38	100,000	5,62	0	7,42	5,62	100,00	
	30	0%	11,7	16,4	3,14	8,2	2470,26	11,78	16,02	3,14	8,01	2373,23	97,03	3,928	3,87	3,27	4,19	0,6	15,30
	10%	14,7	16,4	3,14	8,2	3103,66	15,12	16,12	3,14	8,06	3084,26	19,40	0,625	5,75	5,32	6,59	0,43	7,48	
	20%	14,1	16,4	3,14	8,2	2976,98	14,32	16,28	3,14	8,14	2979,35	-2,37	-0,079	5,04	4,54	5,8	0,5	9,92	
30%	17,1	16,4	3,14	8,2	3610,38	18,84	16,64	3,14	8,32	4095,03	-484,65	-13,424	5,82	4,96	7,23	0,86	14,78		
40%	17	16,4	3,14	8,2	3589,27	20,12	16,84	3,14	8,42	4479,01	-889,74	-24,789	5,6	4,54	7,34	1,06	18,93		

Cu 30%	20	0%	13,9	16,4	3,14	8,2	2934,76	13,34	16,42	3,14	8,21	2823,40	111,36	3,795	4,03	3,38	4,6	0,65	16,13
	10%	18,6	16,4	3,14	8,2	3927,08	19,68	16,32	3,14	8,16	4114,67	-187,59	-4,777	7,42	7,08	9,07	0,34	4,58	
	20%	13,5	16,4	3,14	8,2	2850,30	13,52	16,22	3,14	8,11	2792,21	58,09	2,038	4,12	3,42	4,58	0,7	16,99	
	30%	15,7	16,4	3,14	8,2	3314,80	0	0	3,14	0	0,00	3314,80	100,000	4,71	0	5,67	4,71	100,00	
	40%	14,7	16,4	3,14	8,2	3103,66	0	0	3,14	0	0,00	3103,66	100,000	3,73	0	0	3,73	100,00	
	25	0%	14,9	16,4	3,14	8,2	3145,89	14,12	16,52	3,14	8,26	3024,99	120,90	3,843	4,32	3,58	4,9	0,74	17,13
	10%	17,9	16,4	3,14	8,2	3779,29	18,02	16,38	3,14	8,19	3795,35	-16,06	-0,425	7,06	6,64	8,3	0,42	5,95	
	20%	15,1	16,4	3,14	8,2	3188,12	0	0	3,14	0	0,00	3188,12	100,000	4,59	3,67	0	0,92	20,04	
	30%	15,6	16,4	3,14	8,2	3293,68	17,02	16,54	3,14	8,27	3655,11	-361,42	-10,973	4,76	0	5,67	4,76	100,00	
	40%	14,6	16,4	3,14	8,2	3082,55	0	0	3,14	0	0,00	3082,55	100,000	3,85	0	0	3,85	100,00	
	30	0%	13,1	16,4	3,14	8,2	2765,85	13,42	16,46	3,14	8,23	2854,18	-88,33	-3,194	4,15	3,46	4,69	0,69	16,63
	10%	17,4	16,4	3,14	8,2	3673,72	13,32	16,48	3,14	8,24	2839,80	833,92	22,700	7,33	7,03	8,69	0,3	4,09	
	20%	15,9	16,4	3,14	8,2	3357,02	16,26	16,14	3,14	8,07	3325,04	31,98	0,953	5,11	4,37	5,61	0,74	14,48	
30%	13,8	16,4	3,14	8,2	2913,64	16,38	16,26	3,14	8,13	3399,58	-485,93	-16,678	4,44	3,43	5,02	1,01	22,75		
40%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	#DIV/0!		

Cu 40%	20	0%	19,4	16,4	3,14	8,2	4095,99	20,2	17,7	3,14	8,85	4967,84	-871,85	-21,285	9,02	9,46	11,3	-0,44	-4,88
	10%	18,5	16,4	3,14	8,2	3905,97	19,8	17,9	3,14	8,95	4980,13	-1074,16	-27,500	8,1	7,73	9,66	0,37	4,57	
	20%	19,6	16,4	3,14	8,2	4138,22	21,1	17,1	3,14	8,55	4843,33	-705,11	-17,039	9,33	9,45	11,63	-0,12	-1,29	
	30%	17,7	16,4	3,14	8,2	3737,06	19,1	17,1	3,14	8,55	4384,25	-647,18	-17,318	6,63	5,32	7,73	1,31	19,76	
	40%	16,7	16,4	3,14	8,2	3525,93	18,8	17,1	3,14	8,55	4315,39	-789,46	-22,390	5,48	4,02	0	1,46	26,64	
	25	0%	18,4	16,4	3,14	8,2	3884,86	20,4	16,7	3,14	8,35	4466,14	-581,29	-14,963	9,14	9,43	11,41	-0,29	-3,17
	10%	17,1	16,4	3,14	8,2	3610,38	19,3	16,82	3,14	8,41	4286,26	-675,88	-18,720	7,85	7,78	9,79	0,07	0,89	
	20%	18,5	16,4	3,14	8,2	3905,97	21,44	16,9	3,14	8,45	4806,93	-900,96	-23,066	9,23	9,4	11,53	-0,17	-1,84	
	30%	16,1	16,4	3,14	8,2	3399,25	19,32	16,6	3,14	8,3	4179,20	-779,95	-22,945	6,2	5,52	7,97	0,68	10,97	
	40%	15,7	16,4	3,14	8,2	3314,80	19,42	16,5	3,14	8,25	4150,37	-835,57	-25,207	5,29	4,19	0	1,1	20,79	
	30	0%	18,9	16,4	3,14	8,2	3990,43	21,3	16,78	3,14	8,39	4707,96	-717,54	-17,982	9,18	9,13	10,19	0,05	0,54
	10%	16,6	16,4	3,14	8,2	3504,82	21	16,8	3,14	8,4	4652,73	-1147,91	-32,752	7,8	7,98	10,24	-0,18	-2,31	
	20%	18,3	16,4	3,14	8,2	3863,74	22,6	16,74	3,14	8,37	4971,52	-1107,77	-28,671	9,18	9,54	11,96	-0,36	-3,92	
30%	16,1	16,4	3,14	8,2	3399,25	21,3	16,5	3,14	8,25	4552,16	-1152,91	-33,916	5,93	5,91	8,25	0,02	0,34		
40%	14,7	16,4	3,14	8,2	3103,66	20	16	3,14	8	4019,20	-915,54	-29,499	5,08	4,3	0	0,78	15,35		

Lampiran 3  
Bakar 1000°C

Hasil Susut



	P	SK	t mm	Ø mm	$\pi$	Ø/2 mm	Vsb mm <sup>3</sup>	t mm	Ø mm	$\pi$	Ø/2 mm	Vss mm <sup>3</sup>	Vsb-Vss	SSV (%)	Msb gr	Mss gr	Mb gr	M	
1000 °C	20	0%	14,44	16,4	3,14	8,2	3048,77	14,4	16,4	3,14	8,2	3040,32	8,45	0,277	4,33	3,57	4,84	0	
		10%	14,32	16,4	3,14	8,2	3023,43	14,12	16,4	3,14	8,2	2981,21	42,23	1,397	4,19	3,35	4,61	0	
		20%	14	16,4	3,14	8,2	2955,87	13,66	16,38	3,14	8,19	2877,05	78,82	2,666	4,16	3,41	4,64	0	
		30%	20,82	16,4	3,14	8,2	4395,80	20,2	16,38	3,14	8,19	4254,50	141,30	3,214	5,41	3,96	6,07	1	
	25	0%	17,5	16,4	3,14	8,2	3694,84	17,4	16,36	3,14	8,18	3655,83	39,01	1,056	5,46	4,47	6,04	0	
		10%	15,14	16,4	3,14	8,2	3196,56	15	16,36	3,14	8,18	3151,57	44,99	1,407	4,65	3,72	5,05	0	
		20%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	
		30%	12	16,4	3,14	8,2	2533,60	12,3	16,34	3,14	8,17	2577,98	-44,37	-1,751	3,4	2,5	3,81	1	
	30	0%	18,38	16,4	3,14	8,2	3880,64	0	0	3,14	0	0,00	3880,64	100,000	4,46	0	0	4	
		10%	19,12	16,4	3,14	8,2	4036,87	18,62	16,3	3,14	8,15	3883,51	153,36	3,799	5,71	4,47	6,11	1	
		20%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	
		30%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	
	Cu 0%	20	0%	19,12	16,4	3,14	8,2	4036,87	18,72	16,28	3,14	8,14	3894,79	142,08	3,520	5,68	4,65	6,29	1
			10%	17	16,4	3,14	8,2	3589,27	16,72	15,36	3,14	7,68	3096,62	492,65	13,726	5,96	5,16	6,21	1
			20%	20,1	16,4	3,14	8,2	4243,79	19,38	15,36	3,14	7,68	3589,27	654,52	15,423	6,47	5,32	6,55	1
			30%	18,44	16,4	3,14	8,2	3893,30	18,38	15,52	3,14	7,76	3475,35	417,95	10,735	5,42	4,26	5,83	1
25		0%	13,64	16,4	3,14	8,2	2879,86	13,82	15,7	3,14	7,85	2674,10	205,77	7,145	3,9	2,93	4,25	0	
		10%	16,66	16,4	3,14	8,2	3517,49	16,32	16,3	3,14	8,15	3403,81	113,68	3,232	5,19	4,43	5,72	0	
		20%	17,52	16,4	3,14	8,2	3699,06	16,68	15,34	3,14	7,67	3081,18	617,89	16,704	6,1	5,28	6,27	0	
		30%	18,04	16,4	3,14	8,2	3808,85	17,16	15,32	3,14	7,66	3161,58	647,27	16,994	6,38	5,62	6,51	0	
30		0%	19,08	16,4	3,14	8,2	4028,43	19,88	15,34	3,14	7,67	3672,29	356,14	8,841	5,89	4,64	6,21	1	
		10%	18,3	16,4	3,14	8,2	3863,74	19,92	15,76	3,14	7,88	3883,93	-20,19	-0,522	5,5	4,23	5,95	1	
		20%	12,58	16,4	3,14	8,2	2656,06	12,56	16,42	3,14	8,21	2658,31	-2,25	-0,085	3,92	3,24	4,29	0	
		30%	19,56	16,4	3,14	8,2	4129,77	9,12	15,44	3,14	7,72	1706,71	2423,07	58,673	3,32	2,85	3,83	0	
Cu 10%		20	0%	21,6	16,4	3,14	8,2	4560,49	21,9	15,28	3,14	7,64	4013,84	546,64	11,986	7,12	5,85	7,39	1
			10%	18,12	16,4	3,14	8,2	3825,74	17,46	15,48	3,14	7,74	3284,40	541,34	14,150	6	4,94	6,13	1
			20%	10,76	16,4	3,14	8,2	2271,80	0	0	3,14	0	0,00	2271,80	100,000	3	0	0	0
			30%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0



	20	0%	14,56	16,4	3,14	8,2	3074,11	15,26	16,22	3,14	8,11	3151,56	-77,46	-2,520	6,02	5,68	6,77	0	0	
Cu 20%		10%	15,14	16,4	3,14	8,2	3196,56	15,44	15,94	3,14	7,97	3079,59	116,97	3,659	5,38	4,6	5,77	0	0	
		20%	17,06	16,4	3,14	8,2	3601,94	19,24	16,48	3,14	8,24	4101,94	-500,00	-13,881	6,18	5,31	7,32	0	0	
		30%	17,62	16,4	3,14	8,2	3720,17	19,72	16,38	3,14	8,19	4153,41	-433,23	-11,645	6	4,91	7,11	0	0	
		40%	15,56	16,4	3,14	8,2	3285,24	16,28	16,38	3,14	8,19	3428,88	-143,64	-4,372	3,93	2,21	0	0	0	0
		25	0%	17,4	16,4	3,14	8,2	3673,72	17,52	15,68	3,14	7,84	3381,39	292,33	7,957	7,06	6,7	7,75	0	0
			10%	15,02	16,4	3,14	8,2	3171,23	14,62	15,48	3,14	7,74	2750,17	421,06	13,278	5,25	4,52	5,25	0	0
			20%	15,44	16,4	3,14	8,2	3259,90	16,12	15,58	3,14	7,79	3071,63	188,27	5,775	5,7	4,96	6,29	0	0
			30%	17,66	16,4	3,14	8,2	3728,62	19,5	15,72	3,14	7,86	3782,76	-54,15	-1,452	5,99	4,9	6,71	0	0
			40%	15,52	16,4	3,14	8,2	3276,79	16,88	16,02	3,14	8,01	3400,69	-123,90	-3,781	3,89	2,17	0	0	0
		30	0%	15,42	16,4	3,14	8,2	3255,68	15,18	16,02	3,14	8,01	3058,20	197,48	6,066	6,49	6,17	6,99	0	0
			10%	15,04	16,4	3,14	8,2	3175,45	14,62	15,34	3,14	7,67	2700,65	474,80	14,952	5,41	4,67	5,46	0	0
			20%	16,08	16,4	3,14	8,2	3395,03	16,08	15,44	3,14	7,72	3009,19	385,83	11,365	5,95	5,19	6,27	0	0
			30%	16,34	16,4	3,14	8,2	3449,92	17,22	15,44	3,14	7,72	3222,53	227,39	6,591	5,7	4,71	6,17	0	0
			40%	15,62	16,4	3,14	8,2	3297,91	17,02	16,18	3,14	8,09	3497,73	-199,82	-6,059	4,06	2,36	0	0	0
		20	0%	13,54	16,4	3,14	8,2	2858,75	13,44	16,36	3,14	8,18	2823,81	34,94	1,222	4,09	3,39	4,61	0	0
	Cu 30%		10%	17,22	16,4	3,14	8,2	3635,72	19,62	17,18	3,14	8,59	4545,85	-910,13	-25,033	7,22	7,02	9,09	0	0
		20%	15,86	16,4	3,14	8,2	3348,58	14,52	15,56	3,14	7,78	2759,66	588,92	17,587	4,84	4,17	5,19	0	0	
		30%	15,96	16,4	3,14	8,2	3369,69	15,5	15,76	3,14	7,88	3022,13	347,56	10,314	4,46	3,54	4,95	0	0	
		40%	14,38	16,4	3,14	8,2	3036,10	15,24	15,24	3,14	7,62	2778,59	257,51	8,482	3,79	2,64	0	0	0	
		25	0%	13,22	16,4	3,14	8,2	2791,19	13,36	16,32	3,14	8,16	2793,29	-2,11	-0,075	4,01	3,34	4,5	0	0
			10%	15,88	16,4	3,14	8,2	3352,80	18,06	17,06	3,14	8,53	4126,15	-773,35	-23,066	6,81	6,59	8,25	0	0
			20%	13,84	16,4	3,14	8,2	2922,09	7,68	15,48	3,14	7,74	1444,68	1477,41	50,560	2,61	2,21	2,65	0	0
			30%	13,64	16,4	3,14	8,2	2879,86	8,68	15,58	3,14	7,79	1653,96	1225,91	42,568	2,57	2,05	2,77	0	0
			40%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	0
		30	0%	12,94	16,4	3,14	8,2	2732,07	12,06	16,26	3,14	8,13	2502,98	229,08	8,385	3,83	3,16	4,22	0	0
			10%	15,06	16,4	3,14	8,2	3179,67	17,12	17,04	3,14	8,52	3902,23	-722,56	-22,724	6,64	6,46	8,04	0	0
			20%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	0
			30%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	0
			40%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	0
		20	0%	19,9	16,4	3,14	8,2	4201,56	23,24	17,3	3,14	8,63	5460,07	-1258,51	-29,953	8,95	9,26	12,12	0	0
Cu 40%			10%	17,68	16,4	3,14	8,2	3732,84	21,94	17,06	3,14	8,53	5012,61	-1279,77	-34,284	7,56	7,47	9,77	0	0
		20%	19,18	16,4	3,14	8,2	4049,54	21,28	16,42	3,14	8,21	4503,89	-454,35	-11,220	8,16	8,05	10,17	0	0	
		30%	12,88	16,4	3,14	8,2	2719,40	14,08	21,38	3,14	10,69	5052,28	-2332,88	-85,787	4,28	3,84	0	0	0	
		40%	15,42	16,4	3,14	8,2	3255,68	18,92	16,56	3,14	8,28	4072,97	-817,29	-25,104	4,88	4,03	0	0	0	
		25	0%	19,58	16,4	3,14	8,2	4134,00	22,46	17,3	3,14	8,63	5276,81	-1142,82	-27,644	9,49	9,54	12,01	0	0
			10%	16,22	16,4	3,14	8,2	3424,59	17,54	16,14	3,14	8,07	3586,79	-162,21	-4,737	7,27	7,2	8,64	0	0
			20%	18,6	16,4	3,14	8,2	3927,08	19,52	16,02	3,14	8,01	3932,55	-5,47	-0,139	8,11	7,99	9,58	0	0
			30%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	0
			40%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	0
		30	0%	18,44	16,4	3,14	8,2	3893,30	22,52	17,42	3,14	8,71	5364,56	-1471,26	-37,789	9,41	9,81	12,04	0	0
			10%	15,9	16,4	3,14	8,2	3357,02	17,06	16,56	3,14	8,28	3672,56	-315,54	-9,399	6,77	6,68	8,34	0	0
			20%	18,32	16,4	3,14	8,2	3867,97	20,32	16,42	3,14	8,21	4300,71	-432,74	-11,188	8,32	8,14	9,9	0	0
			30%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	0
			40%	0	16,4	3,14	8,2	0,00	0	0	3,14	0	0,00	0,00	#DIV/0!	0	0	0	0	0

## Lampiran 4

### DOKUMENTASI



a. Spesimen sebelum di Sintering



b. Spesimen sesudah di Sintering



a. Pengukuran berat spesimen



b. pengukuran panjang & diameter spesimen

b.

c. Lampiran 5

Tabel Perhitungan Susut Bakar

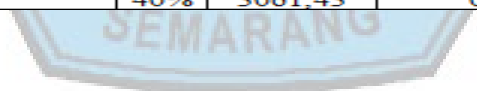
800 °C	P	SK	Msb gr	Mss gr	Msb-Mss	SSM (%)	
Cu 0%	20	0%	4,19	3,43	0,76	18,138	
		10%	4,52	3,65	0,87	19,247	
		20%	4,07	3,09	0,98	24,078	
		30%	4,28	3,24	1,04	24,299	
	25	0%	4,01	2,84	1,17	29,177	
		0%	4,5	3,72	0,78	17,333	
		10%	4,4	3,55	0,85	19,318	
		20%	4,19	3,17	1,02	24,343	
	30	30%	4,21	3,13	1,08	25,653	
		40%	4,15	2,94	1,21	29,156	
		0%	4,52	3,73	0,79	17,477	
		10%	4,28	3,47	0,81	18,925	
			20%	4,17	3,05	1,12	26,859
			30%	4,22	0	4,22	100
			40%	4,13	0	4,13	100
	Cu 10%	20	0%	5,23	4,62	0,61	11,663
10%			5,07	4,3	0,77	15,187	
20%			5,3	4,33	0,97	18,301	
30%			4,56	0	4,56	100	
25		40%	4,8	0	4,8	100	
		0%	5,38	4,72	0,66	12,267	
		10%	5,28	4,55	0,73	13,825	
		20%	5,25	4,37	0,88	16,761	
30		30%	4,74	0	4,74	100	
		40%	4,57	0	4,57	100	
		0%	5,28	4,62	0,66	12,5	
		10%	5,03	4,26	0,77	15,308	
			20%	5,03	4,06	0,97	19,284
			30%	4,76	0	4,76	100
Cu 20%		20	40%	4,66	0	4,66	100
			0%	6,22	5,79	0,43	6,913
	10%		6,6	6	0,6	9,090	
	20%		6,58	5,81	0,77	11,702	
	25	30%	5,63	0	5,63	100	
		40%	5,25	0	5,25	100	
		0%	6,2	5,87	0,33	5,322	
		10%	6,29	5,57	0,72	11,446	
	30	20%	5,19	5,5	-0,31	-5,973	
		30%	5,6	4,57	1,03	18,392	
		40%	5,34	0	5,34	100	
		0%	6,36	5,75	0,61	9,591	
			10%	6,11	5,7	0,41	6,710
			20%	6,22	5,47	0,75	12,057
			30%	5,45	4,75	0,7	12,844
	Cu 30%	20	40%	5,87	0	5,87	100
0%			4,4	3,61	0,79	17,954	
10%			7,92	7,53	0,39	4,924	
20%			7,6	7	0,6	7,894	
25		30%	5,1	4,09	1,01	19,803	
		40%	4,26	2,9	1,36	31,924	
		0%	4,08	3,36	0,72	17,647	
		10%	7,16	6,81	0,35	4,888	
30		20%	7,31	6,8	0,51	6,976	
		30%	4,99	3,99	1	20,040	
		40%	4,26	3	1,26	29,577	
		0%	4,04	3,37	0,67	16,584	
			10%	7,3	6,94	0,36	4,931
			20%	6,61	6,11	0,5	7,564
			30%	5,5	4,4	1,1	20
			40%	4,22	2,96	1,26	29,857
Cu 40%	20	0%	5,75	5,36	0,39	6,782	
		10%	8,23	8	0,23	2,794	
		20%	8,32	7,98	0,34	4,086	
		30%	6,04	5,38	0,66	10,927	
	25	40%	5,61	4,52	1,09	19,429	
		0%	6,4	5,96	0,44	6,875	
		10%	8,12	7,86	0,26	3,201	
		20%	8,21	7,91	0,3	3,654	
	30	30%	7,1	6,31	0,79	11,126	
		40%	5,93	4,89	1,04	17,537	
		0%	16,3	10,4	5,9	36,196	
		10%	8,1	7,85	0,25	3,086	
			20%	8,5	8,56	-0,06	-0,705
			30%	6,2	5,85	0,35	5,645
			40%	5,4	4,46	0,94	17,407

d.

e.

800 °C	P	SK	Vsb mm3	Vss mm3	Vsb-Vss	SSV (%)
Cu 0%	20	0%	2922,08	2985,67	-63,5883	-2,176
		10%	3179,67	3197,97	-18,304	-0,575
		20%	2955,87	3070,05	-114,187	-3,863
		30%	3213,45	0	3213,453	100
		40%	3213,45	0	3213,453	100
	25	0%	3167,00	3032,91	134,091	4,234
		10%	3167,00	3047,74	119,260	3,765
		20%	3221,89	3105,14	116,751	3,623
		30%	3150,11	3147,68	2,429	0,077
		40%	3061,43	0	3061,437	100
	30	0%	3019,21	3055,17	-35,962	-1,191
		10%	2976,98	3132,40	-155,419	-5,220
	20%	3023,43	3001,18	22,252	0,735	
	30%	3167,00	0	3167,004	100	
	40%	3145,89	0	3145,890	100	
Cu 10%	20	0%	3133,22	2488,31	644,907	20,582
		10%	3027,65	3125,48	-97,833	-3,231
		20%	3221,89	3436,75	-214,860	-6,668
		30%	3209,23	0	3209,230	100
		40%	3395,02	0	3395,028	100
	25	0%	3167,00	3270,46	-103,460	-3,266
		10%	3167,00	3244,88	-77,876	-2,458
		20%	3221,89	3428,23	-206,332	-6,404
		30%	3150,11	0	3150,113	100
		40%	3061,43	0	3061,437	100
	30	0%	3019,21	3176,48	-157,272	-5,209
		10%	2976,98	3143,99	-167,01	-5,610
	20%	3023,43	3313,43	-289,823	-9,585	
	30%	3167,00	0	3167,004	100	
	40%	3145,89	0	3145,890	100	
Cu 20%	20	0%	3251,45	3486,72	-235,267	-7,235
		10%	3547,04	3820,65	-273,608	-7,713
		20%	3563,93	4042,33	-478,395	-13,423
		30%	3420,36	0	3420,364	100
		40%	3344,35	0	3344,356	100
	25	0%	3221,89	3461,59	-239,697	-7,439
		10%	3230,34	3392,27	-161,932	-5,012
		20%	3340,13	3677,70	-337,569	-10,106
		30%	3289,46	3478,59	-189,132	-5,749
		40%	3314,79	0	3314,797	100
	30	0%	3230,34	3405,62	-175,280	-5,426
		10%	3167,00	3529,41	-362,414	-11,443
	20%	3247,23	3729,86	-482,634	-14,862	
	30%	3116,33	3638,51	-522,178	-16,756	
	40%	3061,43	0	3061,437	100	

f.



Cu 30%	20	0%	2976,98	2991,52	-14,539	-0,488
		10%	4201,55	4486,14	-284,583	-6,773
		20%	4095,99	4808,98	-712,988	-17,406
		30%	3779,29	0	3779,291	100
	25	0%	2786,96	3922,85	-1135,888	-40,757
		10%	3779,29	4022,76	-243,476	-6,442
		20%	3969,31	4674,77	-705,464	-17,772
		30%	3399,25	3619,19	-219,944	-6,470
	30	0%	2765,85	2759,10	6,741	0,243
		10%	3779,29	4105,84	-326,554	-8,640
		20%	3441,47	4091,60	-650,125	-18,890
		30%	3694,83	3986,81	-291,973	-7,902
		40%	3314,79	0	3314,797	100
Cu 40%	20	0%	3040,32	3347,31	-306,994	-10,097
		10%	4095,99	0	4095,991	100
		20%	4053,76	0	4053,765	100
		30%	3779,29	0	3779,291	100
	25	0%	3842,63	0	3842,631	100
		10%	3314,79	3521,20	-206,407	-6,226
		20%	4074,87	4911,82	-836,942	-20,539
		30%	4117,10	5139,21	-1022,114	-24,826
	30	0%	3103,66	0	3103,663	100
		10%	3905,97	0	3905,971	100
		20%	4560,48	5321,13	-760,65	-16,679
		30%	3884,85	4661,68	-776,823	-19,996
		40%	3863,74	4638,94	-775,197	-20,063
		30%	3483,70	0	3483,704	100
		40%	3504,81	0	3504,817	100

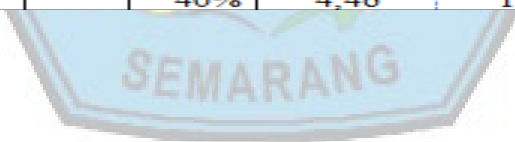
g.  
h.

800 °C	P	SK	Mss gr	Densitas	Mda gr	Mss-Mda
Cu 0%	20	0%	3,43	2,227	1,89	1,54
		10%	3,65	2,186	1,98	1,67
		20%	3,09	2,088	1,61	1,48
		30%	3,24	1,000	0	3,24
	25	0%	2,84	1,000	0	2,84
		10%	3,72	2,201	2,03	1,69
		20%	3,55	2,178	1,92	1,63
		30%	3,17	2,072	1,64	1,53
	30	0%	3,13	2,174	1,69	1,44
		10%	2,94	1,986	1,46	1,48
		20%	3,73	2,207	2,04	1,69
		30%	3,47	2,169	1,87	1,6
		40%	3,05	2,061	1,57	1,48
		30%	0	0,000	1,62	-1,62
		40%	0	#DIV/0!	0	0
Cu 10%	20	0%	4,62	2,625	2,86	1,76
		10%	4,3	2,622	2,66	1,64
		20%	4,33	2,689	2,72	1,61
		30%	0	#DIV/0!	0	0
	25	0%	0	#DIV/0!	0	0
		10%	4,72	2,565	2,88	1,84
		20%	4,55	2,542	2,76	1,79
		30%	4,37	2,556	2,66	1,71
	30	0%	0	0,000	2,17	-2,17
		10%	0	#DIV/0!	0	0
		20%	4,62	2,640	2,87	1,75
		30%	4,26	2,646	2,65	1,61
		40%	4,06	2,570	2,48	1,58
		30%	0	#DIV/0!	0	0
		40%	0	#DIV/0!	0	0

i.

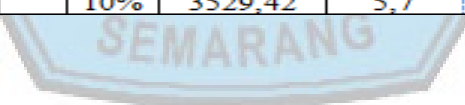
Cu 20%	20	0%	5,79	2,969	3,84	1,95
		10%	6	2,956	3,97	2,03
		20%	5,81	3,074	3,92	1,89
		30%	0	#DIV/0!	0	0
		40%	0	#DIV/0!	0	0
	25	0%	5,87	2,756	3,74	2,13
		10%	5,57	3,094	3,77	1,8
		20%	5,5	2,973	3,65	1,85
		30%	4,57	3,130	3,11	1,46
		40%	0	#DIV/0!	0	0
	30	0%	5,75	3,177	3,94	1,81
		10%	5,7	4,014	4,28	1,42
	20%	5,47	3,056	3,68	1,79	
	30%	4,75	2,746	3,02	1,73	
	40%	0	#DIV/0!	0	0	
Cu 30%	20	0%	3,61	2,162	1,94	1,67
		10%	7,53	3,303	5,25	2,28
		20%	7	3,349	4,91	2,09
		30%	4,09	2,351	2,35	1,74
		40%	2,9	1,000	0	2,9
	25	0%	3,36	2,301	1,9	1,46
		10%	6,81	3,306	4,75	2,06
		20%	6,8	3,366	4,78	2,02
		30%	3,99	2,509	2,4	1,59
		40%	3	1,000	0	3
	30	0%	3,37	2,160	1,81	1,56
		10%	6,94	3,321	4,85	2,09
	20%	6,11	3,321	4,27	1,84	
	30%	4,4	2,500	2,64	1,76	
	40%	2,96	1,000	0	2,96	
Cu 40%	20	0%	5,36	3,098	3,63	1,73
		10%	8	1,000	0	8
		20%	7,98	1,000	0	7,98
		30%	5,38	1,000	0	5,38
		40%	4,52	1,000	0	4,52
	25	0%	5,96	3,025	3,99	1,97
		10%	7,86	3,432	5,57	2,29
		20%	7,91	1,000	0	7,91
		30%	6,31	1,000	0	6,31
		40%	4,89	1,000	0	4,89
	30	0%	10,4	3,796	7,66	2,74
		10%	7,85	3,458	5,58	2,27
	20%	8,56	3,706	6,25	2,31	
	30%	5,85	1,000	0	5,85	
	40%	4,46	1,000	0	4,46	

j.



800 °C	P	SK	Vss mm <sup>3</sup>	Mss gr	Mb gr	$\rho$ Air gr/mm <sup>3</sup>	Porositas (%)
Cu 0%	20	0%	2985,68	3,43	4,69	0,001	42,201
		10%	3197,98	3,65	5,1	0,001	45,341
		20%	3070,06	3,09	4,58	0,001	48,533
		30%	0,00	3,24	0	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	2,84	0	0,001	#DIV/0!
	25	0%	3032,91	3,72	5,04	0,001	43,523
		10%	3047,74	3,55	4,91	0,001	44,623
		20%	3105,15	3,17	4,63	0,001	47,019
		30%	3147,68	3,13	4,71	0,001	50,196
		40%	0,00	2,94	4,48	0,001	#DIV/0!
	30	0%	3055,17	3,73	5,02	0,001	42,223
		10%	3132,40	3,47	4,69	0,001	38,948
		20%	3001,18	3,05	4,51	0,001	48,648
		30%	0,00	0	4,66	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
	Cu 10%	20	0%	2488,32	4,62	5,99	0,001
		10%	3125,49	4,3	5,68	0,001	44,153
		20%	3436,76	4,33	5,95	0,001	47,137
		30%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
25		0%	3270,46	4,72	6,1	0,001	42,196
		10%	3244,88	4,55	5,95	0,001	43,145
		20%	3428,23	4,37	5,94	0,001	45,796
		30%	0,00	0	5,42	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
30		0%	3176,48	4,62	5,89	0,001	39,981
		10%	3143,99	4,26	5,66	0,001	44,529
		20%	3313,26	4,06	5,66	0,001	48,291
		30%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
Cu 20%		20	0%	3486,73	5,79	7,22	0,001
		10%	3820,65	6	7,68	0,001	43,972
		20%	4042,33	5,81	7,78	0,001	48,734
		30%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
	25	0%	3461,60	5,87	7,1	0,001	35,533
		10%	3392,28	5,57	7,15	0,001	46,576
		20%	3677,70	5,5	7,27	0,001	48,128
		30%	3478,59	4,57	6,62	0,001	58,932
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
	30	0%	3405,62	5,75	7,24	0,001	43,751
		10%	3529,42	5,7	7,01	0,001	37,117

k.



Cu 30%	20	0%	2991,52	3,61	4,87	0,001	42,119
		10%	4486,14	7,53	9,52	0,001	44,359
		20%	4808,98	7	9,2	0,001	45,748
		30%	0,00	4,09	5,47	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	2,9	0	0,001	#DIV/0!
	25	0%	3922,85	3,36	4,62	0,001	32,119
		10%	4022,77	6,81	8,66	0,001	45,988
		20%	4674,78	6,8	9	0,001	47,061
		30%	3619,20	3,99	5,77	0,001	49,182
		40%	0,00	3	0	0,001	#DIV/0!
	30	0%	2759,11	3,37	4,54	0,001	42,405
		10%	4105,85	6,94	8,77	0,001	44,571
	20%	4091,60	6,11	8,08	0,001	48,147	
	30%	3986,81	4,4	6,4	0,001	50,165	
	40%	0,00	2,96	0	0,001	#DIV/0!	
Cu 40%	20	0%	3347,32	5,36	6,85	0,001	44,513
		10%	0,00	8	0	0,001	#DIV/0!
		20%	0,00	7,98	0	0,001	#DIV/0!
		30%	0,00	5,38	0	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	4,52	0	0,001	#DIV/0!
	25	0%	3521,21	5,96	7,43	0,001	41,747
		10%	4911,82	7,86	10,3	0,001	49,676
		20%	5139,22	7,91	0	0,001	-153,914
		30%	0,00	6,31	0	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	4,89	0	0,001	#DIV/0!
	30	0%	5321,14	10,4	12,79	0,001	44,915
		10%	4661,68	7,85	10,01	0,001	46,335
	20%	4638,94	8,56	10,63	0,001	44,622	
	30%	0,00	5,85	0	0,001	#DIV/0!	
	40%	0,00	4,46	0	0,001	#DIV/0!	



Lampiran 6

Pengukuran Susut Bakar

900°c



	<b>P</b>	<b>SK</b>	<b>Msb gr</b>	<b>Mss gr</b>	<b>SSM (%)</b>	<b>Mb-Ms</b>
<b>900 °C</b>	<b>20</b>	<b>0%</b>	4,22	3,49	17,30	1,24
<b>Cu 0%</b>		10%	4,77	3,83	19,71	1,56
		20%	4,31	3,57	17,17	1,52
		30%	4,5	3,32	26,22	1,55
		40%	4,38	3,09	29,45	2,01
	<b>25</b>	<b>0%</b>	4,35	3,59	17,47	1,26
		10%	4,58	3,67	19,87	1,45
		20%	4,08	3,34	18,14	1,19
		30%	3,78	3,77	0,26	0,44
		40%	4,11	2,91	29,20	-2,91
	<b>30</b>	<b>0%</b>	4,26	3,51	17,61	1,19
		10%	4,17	3,35	19,66	1,22
		20%	3,76	3,13	16,76	1,04
	30%	3,92	2,94	25,00	1,46	
	40%	3,7	2,66	28,11	-2,66	
	<b>20</b>	<b>0%</b>	5,94	5,34	10,10	1,45
<b>Cu 10%</b>		10%	5,41	5,11	5,55	0,9
		20%	5,32	4,71	11,47	1,88
		30%	4,6	3,57	22,39	-3,57
		40%	4,77	3,68	22,85	-3,68
	<b>25</b>	<b>0%</b>	5,1	4,53	11,18	1,17
		10%	4,8	4,16	13,33	1,19
		20%	5,07	4,53	10,65	1,17
		30%	4,62	3,65	21,00	1,65
		40%	4,35	3,34	23,22	-3,34
	<b>30</b>	<b>0%</b>	4,61	4,05	12,15	0,98
		10%	4,76	4,1	13,87	1,14
		20%	5,13	4,54	11,50	1,11
	30%	4,94	3,53	28,54	1,51	
	40%	4,11	3,14	23,60	-3,14	
	<b>20</b>	<b>0%</b>	6,49	6,07	6,47	1,48
<b>Cu 20%</b>		10%	6,02	5,25	12,79	1,65
		20%	7,07	6,52	7,78	1,58
		30%	5,84	4,87	16,61	2,21
		40%	5,12	0	100,00	5,89
	<b>25</b>	<b>0%</b>	3,94	3,35	14,97	0,99
		10%	6,1	5,59	8,36	1,42
		20%	5,05	4,46	11,68	1,22
		30%	4,29	4,49	-4,66	2,05
		40%	5,62	0	100,00	
	<b>30</b>	<b>0%</b>	3,87	3,27	15,50	0,92
		10%	5,75	5,32	7,48	1,27
		20%	5,04	4,54	9,92	1,26
	30%	5,82	4,96	14,78	2,27	
	40%	5,6	4,54	18,93	2,8	



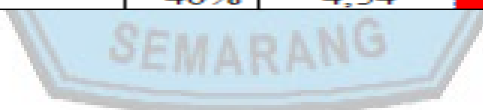
Cu 3p%	20	0%	4,03	3,38	16,13	1,22
		10%	7,42	7,08	4,58	1,99
		20%	4,12	3,42	16,99	1,16
		30%	4,71	0	100,00	5,67
		40%	3,73	0	100,00	0
	25	0%	4,32	3,58	17,13	1,32
		10%	7,06	6,64	5,95	1,66
		20%	4,59	3,67	20,04	-3,67
		30%	4,76	0	100,00	5,67
		40%	3,85	0	100,00	0
	30	0%	4,15	3,46	16,63	1,23
		10%	7,33	7,03	4,09	1,66
		20%	5,11	4,37	14,48	1,24
		30%	4,44	3,43	22,75	1,59
		40%	0	0	#DIV/0!	0
	Cu 40%	20	0%	9,02	9,46	-4,88
		10%	8,1	7,73	4,57	1,93
		20%	9,33	9,45	-1,29	2,18
		30%	6,63	5,32	19,76	2,41
		40%	5,48	4,02	26,64	-4,02
25		0%	9,14	9,43	-3,17	1,98
		10%	7,85	7,78	0,89	2,01
		20%	9,23	9,4	-1,84	2,13
		30%	6,2	5,52	10,97	2,45
		40%	5,29	4,19	20,79	-4,19
30		0%	9,18	9,13	0,54	1,06
		10%	7,8	7,98	-2,31	2,26
		20%	9,18	9,54	-3,92	2,42
		30%	5,93	5,91	0,34	2,34
		40%	5,08	4,3	15,35	-4,3

900 °C	P	SK	Vsb mm3	Vss mm3	Vsb-Vss	SSV (%)
Cu 0%	20	0%	4180,45	3115,27	1065,17	25,48
		10%	3479,48	3395,38	84,10	2,417
		20%	3012,88	0,00	3012,88	100,00
		30%	3479,48	3470,71	8,77	0,252
		40%	3796,18	0,00	3796,18	100,00
	25	0%	2955,87	3130,56	-174,69	-5,91
		10%	3200,79	3243,53	-42,75	-1,33
		20%	2924,20	2759,11	165,09	5,646
		30%	2841,86	3100,02	-258,16	-9,084
		40%	3357,02	0,00	3357,02	100,00
	30	0%	2862,97	2829,49	33,49	1,17
		10%	2820,74	2808,74	12,00	0,425
		20%	2563,16	2529,85	33,31	1,300
		30%	2873,53	2948,01	-74,48	-2,592
		40%	2820,74	0,00	2820,74	100,00
	Cu 10%	20	0%	3779,29	3678,58	100,72
		10%	3589,27	3625,93	-36,66	-1,021
		20%	3200,79	3123,71	77,08	2,408
		30%	3264,13	0,00	3264,13	100,00
		40%	3549,16	0,00	3549,16	100,00
25		0%	3012,88	2979,85	33,02	1,096
		10%	3160,67	3062,05	98,62	3,12
		20%	2970,65	2953,30	17,35	0,584
		30%	3357,02	3473,07	-116,04	-3,457
		40%	2801,74	0,00	2801,74	100,00
30		0%	2670,84	2873,12	-202,28	-7,573
		10%	2841,86	2876,20	-34,34	-1,208
		20%	2970,65	2965,95	4,70	0,158
		30%	2991,76	2678,36	313,41	10,47
		40%	2799,63	0,00	2799,63	100,00

Cu 20%	20	0%	3462,59	3584,73	-122,14	-3,528
		10%	3272,57	3235,07	37,50	1,146
		20%	3821,52	3830,65	-9,13	-0,239
		30%	3715,95	4011,30	-295,35	-7,948
		40%	3525,93	0,00	3525,93	100,00
	25	0%	2533,60	2460,07	73,54	2,902
		10%	3314,80	3296,41	18,39	0,555
		20%	2976,98	3006,55	-29,57	-0,993
		30%	3188,12	3267,46	-79,35	-2,489
		40%	3610,38	0,00	3610,38	100,00
	30	0%	2470,26	2373,23	97,03	3,928
		10%	3103,66	3084,26	19,40	0,625
	20%	2976,98	2979,35	-2,37	-0,079	
	30%	3610,38	4095,03	-484,65	-13,42	
	40%	3589,27	4479,01	-889,74	-24,78	
Cu 30%	20	0%	2934,76	2823,40	111,36	3,795
		10%	3927,08	4114,67	-187,59	-4,777
		20%	2850,30	2792,21	58,09	2,038
		30%	3314,80	0,00	3314,80	100,00
		40%	3103,66	0,00	3103,66	100,00
	25	0%	3145,89	3024,99	120,90	3,843
		10%	3779,29	3795,35	-16,06	-0,425
		20%	3188,12	0,00	3188,12	100,00
		30%	3293,68	3655,11	-361,42	-10,97
		40%	3082,55	0,00	3082,55	100,00
	30	0%	2765,85	2854,18	-88,33	-3,19
		10%	3673,72	2839,80	833,92	22,70
	20%	3357,02	3325,04	31,98	0,953	
	30%	2913,64	3399,58	-485,93	-16,67	
	40%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0	
Cu 40%	20	0%	4095,99	4967,84	-871,85	-21,28
		10%	3905,97	4980,13	-1074,16	-27,50
		20%	4138,22	4843,33	-705,11	-17,03
		30%	3737,06	4384,25	-647,18	-17,31
		40%	3525,93	4315,39	-789,46	-22,39
	25	0%	3884,86	4466,14	-581,29	-14,96
		10%	3610,38	4286,26	-675,88	-18,72
		20%	3905,97	4806,93	-900,96	-23,06
		30%	3399,25	4179,20	-779,95	-22,94
		40%	3314,80	4150,37	-835,57	-25,20
	30	0%	3990,43	4707,96	-717,54	-17,98
		10%	3504,82	4652,73	-1147,91	-32,75
	20%	3863,74	4971,52	-1107,77	-28,67	
	30%	3399,25	4552,16	-1152,91	-33,91	
	40%	3103,66	4019,20	-915,54	-29,49	



	<b>P</b>	<b>SK</b>	<b>Mss gr</b>	<b>Densitas</b>	<b>Mda gr</b>	<b>Mss-M</b>
<b>900 °C</b>	<b>20</b>	<b>0%</b>	<b>3,49</b>	<b>2,281</b>	<b>1,96</b>	<b>1,53</b>
<b>Cu 0%</b>		10%	3,83	2,176	2,07	1,76
		20%	3,57	1,940	1,73	1,84
		30%	3,32	2,614	2,05	1,27
		40%	3,09	2,088	1,61	1,48
	<b>25</b>	<b>0%</b>	<b>3,59</b>	<b>2,202</b>	<b>1,96</b>	<b>1,63</b>
		10%	3,67	2,224	2,02	1,65
		20%	3,34	2,272	1,87	1,47
		30%	3,77	1,646	1,48	2,29
		40%	2,91	1,000	0	2,91
	<b>30</b>	<b>0%</b>	<b>3,51</b>	<b>2,250</b>	<b>1,95</b>	<b>1,56</b>
		10%	3,35	2,204	1,83	1,52
		20%	3,13	2,129	1,66	1,47
	30%	2,94	2,100	1,54	1,4	
	40%	2,66	1,000	0	2,66	
<b>Cu 10%</b>	<b>20</b>	<b>0%</b>	<b>5,34</b>	<b>2,724</b>	<b>3,38</b>	<b>1,96</b>
		10%	5,11	2,388	2,97	2,14
		20%	4,71	2,981	3,13	1,58
		30%	3,57	1,000	0	3,57
		40%	3,68	1,000	0	3,68
	<b>25</b>	<b>0%</b>	<b>4,53</b>	<b>2,745</b>	<b>2,88</b>	<b>1,65</b>
		10%	4,16	2,650	2,59	1,57
		20%	4,53	2,713	2,86	1,67
		30%	3,65	2,570	2,23	1,42
		40%	3,34	1,000	0	3,34
	<b>30</b>	<b>0%</b>	<b>4,05</b>	<b>-3,375</b>	<b>5,25</b>	<b>-1,2</b>
		10%	4,1	2,680	2,57	1,53
	20%	4,54	2,624	2,81	1,73	
	30%	3,53	2,577	2,16	1,37	
	40%	3,14	1,000	0	3,14	
<b>Cu 20%</b>	<b>20</b>	<b>0%</b>	<b>6,07</b>	<b>3,097</b>	<b>4,11</b>	<b>1,96</b>
		10%	5,25	3,547	3,77	1,48
		20%	6,52	3,105	4,42	2,1
		30%	4,87	3,183	3,34	1,53
		40%	0	0,000	2,63	-2,63
	<b>25</b>	<b>0%</b>	<b>3,35</b>	<b>2,445</b>	<b>1,98</b>	<b>1,37</b>
		10%	5,59	3,106	3,79	1,8
		20%	4,46	2,720	2,82	1,64
		30%	4,49	3,097	3,04	1,45
		40%	0	0,000	3,14	-3,14
	<b>30</b>	<b>0%</b>	<b>3,27</b>	<b>2,404</b>	<b>1,91</b>	<b>1,36</b>
		10%	5,32	3,129	3,62	1,7
	20%	4,54	2,702	2,86	1,68	
	30%	4,96	3,139	3,38	1,58	
	40%	4,54	3,220	3,13	1,41	



	20	0%	3,38	2,238	1,87	1,51
Cu 30%		10%	7,08	3,576	5,1	1,98
		20%	3,42	2,235	1,89	1,53
		30%	0	0,000	2,35	-2,35
		40%	0	#DIV/0!	0	0
	25	0%	3,58	2,238	1,98	1,6
		10%	6,64	3,669	4,83	1,81
		20%	3,67	1,000	0	3,67
		30%	0	0,000	2,34	-2,34
		40%	0	#DIV/0!	0	0
	30	0%	3,46	2,247	1,92	1,54
		10%	7,03	3,569	5,06	1,97
		20%	4,37	2,556	2,66	1,71
	30%	3,43	2,701	2,16	1,27	
	40%	0	#DIV/0!	0	0	
	20	0%	9,46	4,043	7,12	2,34
Cu 40%		10%	7,73	3,716	5,65	2,08
		20%	9,45	3,987	7,08	2,37
		30%	5,32	3,500	3,8	1,52
		40%	4,02	1,000	0	4,02
	25	0%	9,43	4,013	7,08	2,35
		10%	7,78	3,705	5,68	2,1
		20%	9,4	3,837	6,95	2,45
		30%	5,52	2,199	3,01	2,51
		40%	4,19	1,000	0	4,19
	30	0%	9,13	1,000	0	9,13
		10%	7,98	3,627	5,78	2,2
		20%	9,54	4,008	7,16	2,38
	30%	5,91	3,230	4,08	1,83	
	40%	4,3	1,000	0	4,3	

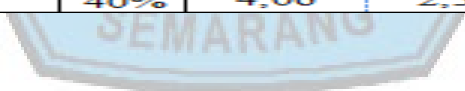
900 °C	P	SK	Vss mm3	Mss gr	Mb gr	ρ Air gr/mm3	Porositas (%)
Cu 0%	20	0%	3115,27	3,49	4,73	0,001	39,804
		10%	3395,38	3,83	5,39	0,001	45,945
		20%	0,00	3,57	5,09	0,001	#DIV/0
		30%	3470,71	3,32	4,87	0,001	44,659
		40%	0,00	3,09	5,1	0,001	#DIV/0
	25	0%	3130,56	3,59	4,85	0,001	40,248
		10%	3243,53	3,67	5,12	0,001	44,704
		20%	2759,11	3,34	4,53	0,001	43,130
		30%	3100,02	3,77	4,21	0,001	14,193
		40%	0,00	2,91	0	0,001	#DIV/0
	30	0%	2829,49	3,51	4,7	0,001	42,057
		10%	2808,74	3,35	4,57	0,001	43,436
	20%	2529,85	3,13	4,17	0,001	41,109	
	30%	2948,01	2,94	4,4	0,001	49,525	
	40%	0,00	2,66	0	0,001	#DIV/0	
Cu 10%	20	0%	3779,29	5,34	6,79	0,001	39,417
		10%	3589,27	5,11	6,01	0,001	24,821
		20%	3200,79	4,71	6,59	0,001	60,185
		30%	3264,13	3,57	0	0,001	#DIV/0
		40%	3549,16	3,68	0	0,001	#DIV/0
	25	0%	3012,88	4,53	5,7	0,001	39,264
		10%	3160,67	4,16	5,35	0,001	38,863
		20%	2970,65	4,53	5,7	0,001	39,617
		30%	3357,02	3,65	5,3	0,001	47,508
		40%	2801,74	3,34	0	0,001	#DIV/0
	30	0%	2670,84	4,05	5,03	0,001	34,109
		10%	2841,86	4,1	5,24	0,001	39,636
	20%	2970,65	4,54	5,65	0,001	37,425	
	30%	2991,76	3,53	5,04	0,001	56,378	
	40%	2799,63	3,14	0	0,001	#DIV/0	

Cu 20%	20	0%	3462,59	6,07	7,55	0,001	41,286	
		10%	3272,57	5,25	6,9	0,001	51,004	
		20%	3821,52	6,52	8,1	0,001	41,246	
		30%	3715,95	4,87	7,08	0,001	55,094	
		40%	3525,93	0	5,89	0,001	#DIV/0	
		25	0%	2533,60	3,35	4,34	0,001	40,243
			10%	3314,80	5,59	7,01	0,001	43,077
			20%	2976,98	4,46	5,68	0,001	40,578
			30%	3188,12	4,49	6,54	0,001	62,740
			40%	3610,38	0	7,42	0,001	#DIV/0
		30	0%	2470,26	3,27	4,19	0,001	38,766
			10%	3103,66	5,32	6,59	0,001	41,177
		20%	2976,98	4,54	5,8	0,001	42,291	
		30%	3610,38	4,96	7,23	0,001	55,433	
		40%	3589,27	4,54	7,34	0,001	62,514	
Cu 30%	20	0%	2934,76	3,38	4,6	0,001	43,210	
		10%	3927,08	7,08	9,07	0,001	48,364	
		20%	2850,30	3,42	4,58	0,001	41,544	
		30%	3314,80	0	5,67	0,001	#DIV/0	
		40%	3103,66	0	0	0,001	#DIV/0	
		25	0%	3145,89	3,58	4,9	0,001	43,636
			10%	3779,29	6,64	8,3	0,001	43,738
			20%	3188,12	3,67	0	0,001	#DIV/0
			30%	3293,68	0	5,67	0,001	155,125
			40%	3082,55	0	0	0,001	#DIV/0
		30	0%	2765,85	3,46	4,69	0,001	43,095
			10%	3673,72	7,03	8,69	0,001	58,455
		20%	3357,02	4,37	5,61	0,001	37,293	
		30%	2913,64	3,43	5,02	0,001	46,771	
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0	
Cu 40%	20	0%	4095,99	9,46	11,3	0,001	37,038	
		10%	3905,97	7,73	9,66	0,001	38,754	
		20%	4138,22	9,45	11,63	0,001	45,010	
		30%	3737,06	5,32	7,73	0,001	54,970	
		40%	3525,93	4,02	0	0,001	-93,155	
		25	0%	3884,86	9,43	11,41	0,001	44,334
			10%	3610,38	7,78	9,79	0,001	46,894
			20%	3905,97	9,4	11,53	0,001	44,311
			30%	3399,25	5,52	7,97	0,001	58,624
			40%	3314,80	4,19	0	0,001	-100,95
		30	0%	3990,43	9,13	10,19	0,001	22,515
			10%	3504,82	7,98	10,24	0,001	48,574
		20%	3863,74	9,54	11,96	0,001	48,677	
		30%	3399,25	5,91	8,25	0,001	51,404	
		40%	3103,66	4,3	0	0,001	-106,98	

Lampiran 7

Pengukuran Susut Bakar 1000°C

	<b>P</b>	<b>SK</b>	<b>Msb gr</b>	<b>Mss gr</b>	<b>SSM (%)</b>	<b>Mb-Mss</b>
<b>1000 °C</b>	<b>20</b>	<b>0%</b>	<b>4,33</b>	<b>3,57</b>	<b>17,55</b>	<b>0,76</b>
<b>Cu 0%</b>		10%	4,19	3,35	20,05	0,84
		20%	4,16	3,41	18,03	0,75
		30%	5,41	3,96	26,80	1,45
		40%	4,97	3,38	31,99	1,59
	<b>25</b>	<b>0%</b>	<b>5,46</b>	<b>4,47</b>	<b>18,13</b>	<b>0,99</b>
		10%	4,65	3,72	20,00	0,93
		20%	0	0	#DIV/0!	0
		30%	3,4	2,5	26,47	0,9
		40%	4,46	0	100,00	4,46
	<b>30</b>	<b>0%</b>	<b>6,11</b>	<b>5,07</b>	<b>17,02</b>	<b>1,04</b>
		10%	5,71	4,47	21,72	1,24
		20%	0	0	#DIV/0!	0
	30%	0	0	#DIV/0!	0	
	40%	0	0	#DIV/0!	0	
	<b>20</b>	<b>0%</b>	<b>5,68</b>	<b>4,65</b>	<b>18,13</b>	<b>1,03</b>
<b>Cu 10%</b>		10%	5,96	5,16	13,42	0,8
		20%	6,47	5,32	17,77	1,15
		30%	5,42	4,26	21,40	1,16
		40%	3,9	2,93	24,87	0,97
	<b>25</b>	<b>0%</b>	<b>5,19</b>	<b>4,43</b>	<b>14,64</b>	<b>0,76</b>
		10%	6,1	5,28	13,44	0,82
		20%	6,38	5,62	11,91	0,76
		30%	5,89	4,64	21,22	1,25
		40%	5,5	4,23	23,09	1,27
	<b>30</b>	<b>0%</b>	<b>3,92</b>	<b>3,24</b>	<b>17,35</b>	<b>0,68</b>
		10%	3,32	2,85	14,16	0,47
		20%	7,12	5,85	17,84	1,27
	30%	6	4,94	17,67	1,06	
	40%	3	0	100,00	3	
	<b>20</b>	<b>0%</b>	<b>6,02</b>	<b>5,68</b>	<b>5,65</b>	<b>0,34</b>
<b>Cu 20%</b>		10%	5,38	4,6	14,50	0,78
		20%	6,18	5,31	14,08	0,87
		30%	6	4,91	18,17	1,09
		40%	3,93	2,21	43,77	1,72
	<b>25</b>	<b>0%</b>	<b>7,06</b>	<b>6,7</b>	<b>5,10</b>	<b>0,36</b>
		10%	5,25	4,52	13,90	0,73
		20%	5,7	4,96	12,98	0,74
		30%	5,99	4,9	18,20	1,09
		40%	3,89	2,17	44,22	1,72
	<b>30</b>	<b>0%</b>	<b>6,49</b>	<b>6,17</b>	<b>4,93</b>	<b>0,32</b>
		10%	5,41	4,67	13,68	0,74
		20%	5,95	5,19	12,77	0,76
	30%	5,7	4,71	17,37	0,99	
	40%	4,06	2,36	41,87	1,7	

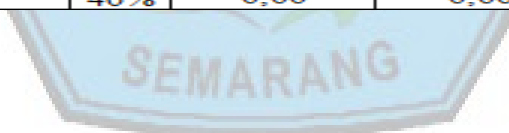


Cu 30%	20	0%	4,09	3,39	17,11	0,7
		10%	7,22	7,02	2,77	0,2
		20%	4,84	4,17	13,84	0,67
		30%	4,46	3,54	20,63	0,92
		40%	3,79	2,64	30,34	1,15
	25	0%	4,01	3,34	16,71	0,67
		10%	6,81	6,59	3,23	0,22
		20%	2,61	2,21	15,33	0,4
		30%	2,57	2,05	20,23	0,52
		40%	0	0	#DIV/0!	0
	30	0%	3,83	3,16	17,49	0,67
		10%	6,64	6,46	2,71	0,18
	20%	0	0	#DIV/0!	0	
	30%	0	0	#DIV/0!	0	
	40%	0	0	#DIV/0!	0	
	20	0%	8,95	9,26	-3,46	-0,31
Cu 40%		10%	7,56	7,47	1,19	0,09
		20%	8,16	8,05	1,35	0,11
		30%	4,28	3,84	10,28	0,44
		40%	4,88	4,03	17,42	0,85
	25	0%	9,49	9,54	-0,53	-0,05
		10%	7,27	7,2	0,96	0,07
		20%	8,11	7,99	1,48	0,12
		30%	0	0	#DIV/0!	0
		40%	0	0	#DIV/0!	0
	30	0%	9,41	9,81	-4,25	-0,4
		10%	6,77	6,68	1,33	0,09
		20%	8,32	8,14	2,16	0,18
	30%	0	0	#DIV/0!	0	
	40%	0	0	#DIV/0!	0	

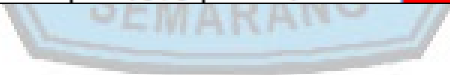
900 °C	P	SK	Vsb mm3	Vss mm3	Vsb-Vss	SSV (%)
Cu 0%	20	0%	3048,77	3040,32	8,45	0,277
		10%	3023,43	2981,21	42,23	1,397
		20%	2955,87	2877,05	78,82	2,666
		30%	4395,80	4254,50	141,30	3,214
		40%	4083,32	4153,41	-70,08	-1,716
	25	0%	3694,84	3655,83	39,01	1,056
		10%	3196,56	3151,57	44,99	1,407
		20%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
		30%	2533,60	2577,98	-44,37	-1,751
		40%	3880,64	0,00	3880,64	100,000
	30	0%	4222,67	4061,24	161,44	3,823
		10%	4036,87	3883,51	153,36	3,799
	20%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	
	30%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	
	40%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	
Cu 10%	20	0%	4036,87	3894,79	142,08	3,520
		10%	3589,27	3096,62	492,65	13,726
		20%	4243,79	3589,27	654,52	15,423
		30%	3893,30	3475,35	417,95	10,735
		40%	2879,86	2674,10	205,77	7,145
	25	0%	3517,49	3403,81	113,68	3,232
		10%	3699,06	3081,18	617,89	16,704
		20%	3808,85	3161,58	647,27	16,994
		30%	4028,43	3672,29	356,14	8,841
		40%	3863,74	3883,93	-20,19	-0,522
	30	0%	2656,06	2658,31	-2,25	-0,085
		10%	4129,77	1706,71	2423,07	58,673
	20%	4560,49	4013,84	546,64	11,986	
	30%	3825,74	3284,40	541,34	14,150	
	40%	2271,80	0,00	2271,80	100,000	



Cu 20%	20	0%	3074,11	3151,56	-77,46	-2,520	
		10%	3196,56	3079,59	116,97	3,659	
		20%	3601,94	4101,94	-500,00	-13,881	
		30%	3720,17	4153,41	-433,23	-11,645	
		40%	3285,24	3428,88	-143,64	-4,372	
		25	0%	3673,72	3381,39	292,33	7,957
			10%	3171,23	2750,17	421,06	13,278
			20%	3259,90	3071,63	188,27	5,775
			30%	3728,62	3782,76	-54,15	-1,452
			40%	3276,79	3400,69	-123,90	-3,781
		30	0%	3255,68	3058,20	197,48	6,066
			10%	3175,45	2700,65	474,80	14,952
		20%	3395,03	3009,19	385,83	11,365	
		30%	3449,92	3222,53	227,39	6,591	
		40%	3297,91	3497,73	-199,82	-6,059	
Cu 30%	20	0%	2858,75	2823,81	34,94	1,222	
		10%	3635,72	4545,85	-910,13	-25,033	
		20%	3348,58	2759,66	588,92	17,587	
		30%	3369,69	3022,13	347,56	10,314	
		40%	3036,10	2778,59	257,51	8,482	
		25	0%	2791,19	2793,29	-2,11	-0,075
			10%	3352,80	4126,15	-773,35	-23,066
			20%	2922,09	1444,68	1477,41	50,560
			30%	2879,86	1653,96	1225,91	42,568
			40%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
		30	0%	2732,07	2502,98	229,08	8,385
			10%	3179,67	3902,23	-722,56	-22,724
		20%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	
		30%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	
		40%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	
Cu 40%	20	0%	4201,56	5460,07	-1258,51	-29,953	
		10%	3732,84	5012,61	-1279,77	-34,284	
		20%	4049,54	4503,89	-454,35	-11,220	
		30%	2719,40	5052,28	-2332,88	-85,787	
		40%	3255,68	4072,97	-817,29	-25,104	
		25	0%	4134,00	5276,81	-1142,82	-27,644
			10%	3424,59	3586,79	-162,21	-4,737
			20%	3927,08	3932,55	-5,47	-0,139
			30%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
			40%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!
		30	0%	3893,30	5364,56	-1471,26	-37,789
			10%	3357,02	3672,56	-315,54	-9,399
		20%	3867,97	4300,71	-432,74	-11,188	
		30%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	
		40%	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	



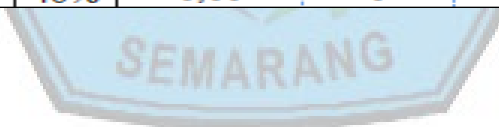
	<b>P</b>	<b>SK</b>	<b>Mss gr</b>	<b>Densitas</b>	<b>Mda gr</b>	<b>Mss-Md</b>
<b>900 °C</b>	<b>20</b>	<b>0%</b>	<b>3,57</b>	<b>2,245</b>	<b>1,98</b>	<b>1,59</b>
<b>Cu 0%</b>		10%	3,35	2,147	1,79	1,56
		20%	3,41	2,243	1,89	1,52
		30%	3,96	2,095	2,07	1,89
		40%	3,38	1,000	0	3,38
	<b>25</b>	<b>0%</b>	<b>4,47</b>	<b>2,191</b>	<b>2,43</b>	<b>2,04</b>
		10%	3,72	2,163	2	1,72
		20%	0	#DIV/0!	0	0
		30%	2,5	2,049	1,28	1,22
		40%	0	#DIV/0!	0	0
	<b>30</b>	<b>0%</b>	<b>5,07</b>	<b>2,214</b>	<b>2,78</b>	<b>2,29</b>
		10%	4,47	2,139	2,38	2,09
		20%	0	#DIV/0!	0	0
	30%	0	#DIV/0!	0	0	
	40%	0	#DIV/0!	0	0	
	<b>20</b>	<b>0%</b>	<b>4,65</b>	<b>2,225</b>	<b>2,56</b>	<b>2,09</b>
<b>Cu 10%</b>		10%	5,16	2,804	3,32	1,84
		20%	5,32	2,634	3,3	2,02
		30%	4,26	2,731	2,7	1,56
		40%	2,93	2,764	1,87	1,06
	<b>25</b>	<b>0%</b>	<b>4,43</b>	<b>2,215</b>	<b>2,43</b>	<b>2</b>
		10%	5,28	2,653	3,29	1,99
		20%	5,62	2,638	3,49	2,13
		30%	4,64	2,713	2,93	1,71
		40%	4,23	2,627	2,62	1,61
	<b>30</b>	<b>0%</b>	<b>3,24</b>	<b>-0,715</b>	<b>7,77</b>	<b>-4,53</b>
		10%	2,85	2,664	1,78	1,07
		20%	5,85	2,659	3,65	2,2
	30%	4,94	2,656	3,08	1,86	
	40%	0	#DIV/0!	0	0	
	<b>20</b>	<b>0%</b>	<b>5,68</b>	<b>2,928</b>	<b>3,74</b>	<b>1,94</b>
<b>Cu 20%</b>		10%	4,6	2,674	2,88	1,72
		20%	5,31	3,000	3,54	1,77
		30%	4,91	2,905	3,22	1,69
		40%	2,21	1,000	0	2,21
	<b>25</b>	<b>0%</b>	<b>6,7</b>	<b>2,913</b>	<b>4,4</b>	<b>2,3</b>
		10%	4,52	2,643	2,81	1,71
		20%	4,96	2,988	3,3	1,66
		30%	4,9	3,063	3,3	1,6
		40%	2,17	1,000	0	2,17
	<b>30</b>	<b>0%</b>	<b>6,17</b>	<b>2,938</b>	<b>4,07</b>	<b>2,1</b>
		10%	4,67	2,566	2,85	1,82
		20%	5,19	3,000	3,46	1,73
	30%	4,71	2,981	3,13	1,58	
	40%	2,36	1,000	0	2,36	



Cu 30%	20	0%	3,39	2,260	1,89	1,5
		10%	7,02	3,458	4,99	2,03
		20%	4,17	2,606	2,57	1,6
		30%	3,54	2,810	2,28	1,26
		40%	2,64	2,063	1,36	1,28
	25	0%	3,34	2,197	1,82	1,52
		10%	6,59	3,397	4,65	1,94
		20%	2,21	2,540	1,34	0,87
		30%	2,05	2,847	1,33	0,72
		40%	0	#DIV/0!	0	0
	30	0%	3,16	2,290	1,78	1,38
		10%	6,46	3,436	4,58	1,88
	20%	0	#DIV/0!	0	0	
	30%	0	#DIV/0!	0	0	
	40%	0	#DIV/0!	0	0	
Cu 40%	20	0%	9,26	3,617	6,7	2,56
		10%	7,47	3,591	5,39	2,08
		20%	8,05	3,676	5,86	2,19
		30%	3,84	1,000	0	3,84
		40%	4,03	1,000	0	4,03
	25	0%	9,54	3,801	7,03	2,51
		10%	7,2	3,600	5,2	2
		20%	7,99	3,535	5,73	2,26
		30%	0	#DIV/0!	0	0
		40%	0	#DIV/0!	0	0
	30	0%	9,81	3,660	7,13	2,68
		10%	6,68	3,591	4,82	1,86
	20%	8,14	3,494	5,81	2,33	
	30%	0	#DIV/0!	0	0	
	40%	0	#DIV/0!	0	0	

900 °C	P	SK	Vss mm3	Mss gr	Mb gr	$\rho$ Air gr/mm3	Porositas (%)
Cu 0%	20	0%	3040,32	3,57	4,84	0,001	41,772
		10%	2981,21	3,35	4,61	0,001	42,265
		20%	2877,05	3,41	4,64	0,001	42,752
		30%	4254,50	3,96	6,07	0,001	49,595
		40%	4153,41	3,38	0	0,001	-81,379
	25	0%	3655,83	4,47	6,04	0,001	42,945
		10%	3151,57	3,72	5,05	0,001	42,201
		20%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
		30%	2577,98	2,5	3,81	0,001	50,815
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
	30	0%	4061,24	5,07	6,81	0,001	42,844
		10%	3883,51	4,47	6,11	0,001	42,230
	20%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!	
	30%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!	
	40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!	
Cu 10%	20	0%	3894,79	4,65	6,29	0,001	42,108
		10%	3096,62	5,16	6,21	0,001	33,908
		20%	3589,27	5,32	6,55	0,001	34,269
		30%	3475,35	4,26	5,83	0,001	45,175
		40%	2674,10	2,93	4,25	0,001	49,362
	25	0%	3403,81	4,43	5,72	0,001	37,899
		10%	3081,18	5,28	6,27	0,001	32,131
		20%	3161,58	5,62	6,51	0,001	28,150
		30%	3672,29	4,64	6,21	0,001	42,753
		40%	3883,93	4,23	5,95	0,001	44,285
	30	0%	2658,31	3,24	4,29	0,001	39,499
		10%	1706,71	2,85	3,83	0,001	57,421
	20%	4013,84	5,85	7,39	0,001	38,367	
	30%	3284,40	4,94	6,13	0,001	36,232	
	40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!	

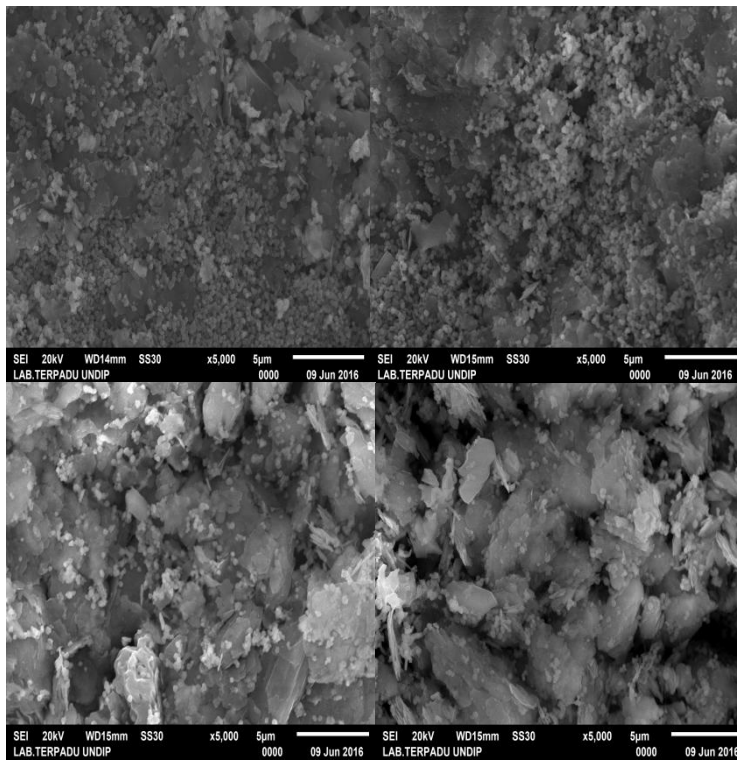
Cu 20%	20	0%	3151,56	5,68	6,77	0,001	34,586
		10%	3079,59	4,6	5,77	0,001	37,992
		20%	4101,94	5,31	7,32	0,001	49,001
		30%	4153,41	4,91	7,11	0,001	52,969
		40%	3428,88	2,21	0	0,001	-64,453
	25	0%	3381,39	6,7	7,75	0,001	31,052
		10%	2750,17	4,52	5,25	0,001	26,544
		20%	3071,63	4,96	6,29	0,001	43,299
		30%	3782,76	4,9	6,71	0,001	47,849
		40%	3400,69	2,17	0	0,001	-63,811
	30	0%	3058,20	6,17	6,99	0,001	26,813
		10%	2700,65	4,67	5,46	0,001	29,252
	20%	3009,19	5,19	6,27	0,001	35,890	
	30%	3222,53	4,71	6,17	0,001	45,306	
	40%	3497,73	2,36	0	0,001	-67,472	
Cu 30%	20	0%	2823,81	3,39	4,61	0,001	43,204
		10%	4545,85	7,02	9,09	0,001	45,536
		20%	2759,66	4,17	5,19	0,001	36,961
		30%	3022,13	3,54	4,95	0,001	46,656
		40%	2778,59	2,64	0	0,001	-95,012
	25	0%	2793,29	3,34	4,5	0,001	41,528
		10%	4126,15	6,59	8,25	0,001	40,231
		20%	1444,68	2,21	2,65	0,001	30,456
		30%	1653,96	2,05	2,77	0,001	43,532
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
	30	0%	2502,98	3,16	4,22	0,001	42,349
		10%	3902,23	6,46	8,04	0,001	40,490
	20%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!	
	30%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!	
	40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!	
Cu 40%	20	0%	5460,07	9,26	12,12	0,001	52,380
		10%	5012,61	7,47	9,77	0,001	45,884
		20%	4503,89	8,05	10,17	0,001	47,070
		30%	5052,28	3,84	0	0,001	-76,005
		40%	4072,97	4,03	0	0,001	-98,945
	25	0%	5276,81	9,54	12,01	0,001	46,809
		10%	3586,79	7,2	8,64	0,001	40,147
		20%	3932,55	7,99	9,58	0,001	40,432
		30%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
		40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!
	30	0%	3893,30	9,81	12,04	0,001	41,569
		10%	3357,02	6,68	8,34	0,001	45,200
	20%	3867,97	8,14	9,9	0,001	40,924	
	30%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!	
	40%	0,00	0	0	0,001	#DIV/0!	



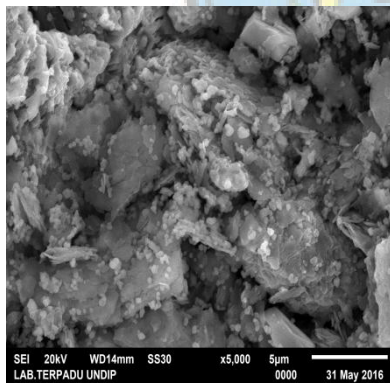
**Lampiran 8**  
Microscope SEM

Hasil Pengujian *Scanning Electron*

Pembesaran SEM 5000x

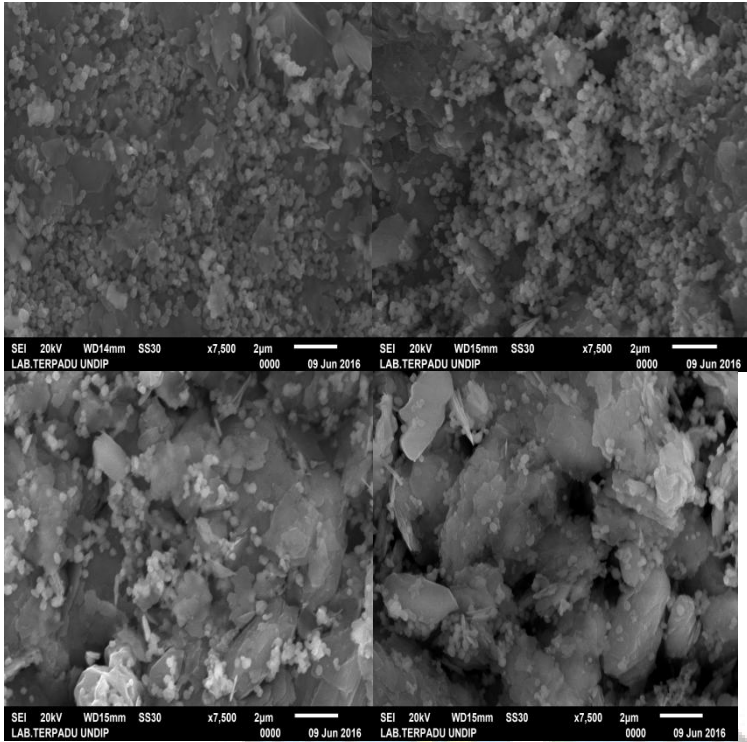


0% Cu 20% Serbuk Kayu 10% Cu 20% Serbuk Kayu 20% Cu 20% Serbuk Kayu 30% Cu 20% Serbuk Kayu

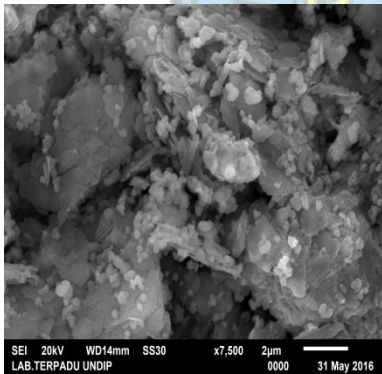


40% Cu 20% Serbuk Kayu

Pembesaran SEM 7500x

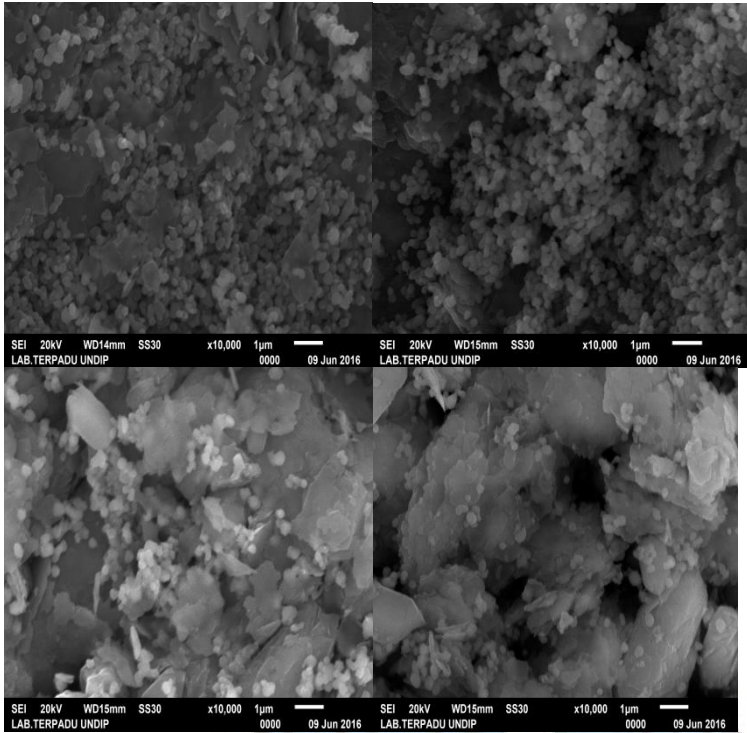


0% Cu 20% Serbuk Kayu    10% Cu 20% Serbuk Kayu    20% Cu 20% Serbuk Kayu    30% Cu 20% Serbuk Kayu

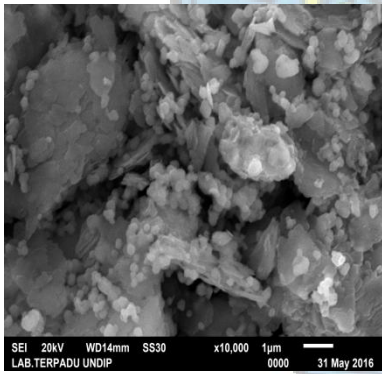


40% Cu 20% Serbuk Kayu

Pembesaran SEM 10000x



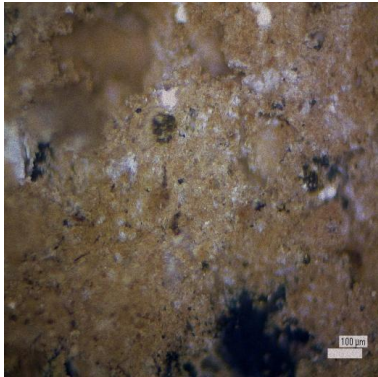
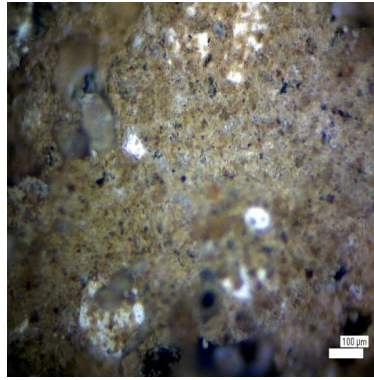
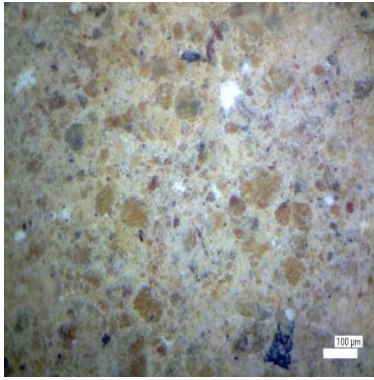
0% Cu 20% Serbuk Kayu    10% Cu 20% Serbuk Kayu    20% Cu 20% Serbuk Kayu    30% Cu 20% Serbuk Kayu



40% Cu 20% Serbuk Kayu

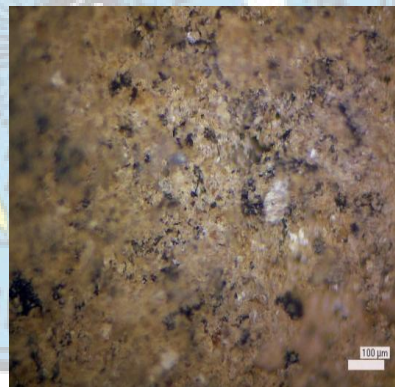
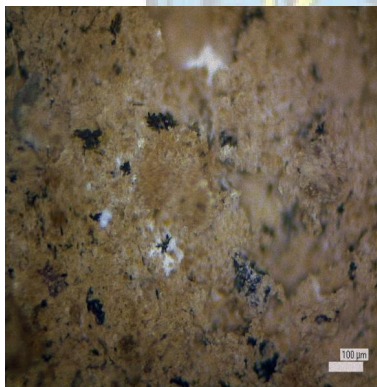
**Lampiran 9**

**Hasil Pengujian Foto Mikro**



0% Cu 20% SK (100X) 10% Cu 20% SK (100X)

20% Cu 20% SK (100X)



30% Cu 20% SK (100X)

40% Cu 20% SK (100X)



